6

Antiquar.
tto-Pi

Phys. Geogr.
o
22 C

Fluth und Ebbe

und

die Wirkungen des Windes auf den Meeresspiegel.

Von

Hugo Lentz,

Wasserbau-Inspector in Cuxhaven.

Mit 44 Figuren auf 9 Tafeln.

HAMBURG.

OTTO MEISSNER.

1879.

BIBLIOTHECA BABILONIENSIS

Vorwort.

In einem, vor fünf Jahren von mir unter dem Titel »Von der Fluth und Ebbe des Meeres« veröffentlichten Buche, wurden bald nach seinem Erscheinen Fehler und Mängel entdeckt, die ich zu beseitigen wünschte. Mehrere Jahre vergingen, ehe ich damit zu Stande kam, und da mir inzwischen neue, sehr wichtige Untersuchungen der Flutherscheinungen bekannt geworden waren, so entschloss ich mich zu einer völligen Umgestaltung meiner Arbeit, indem ich mich bemühte, einen Abriss unserer dermaligen Kenntnisse von der Fluth und Ebbe des Meeres daraus zu machen.

Bedeutende Schwierigkeiten waren der Ausführung meines Vorhabens hinderlich. Die Resultate der neuesten Untersuchungen stellten die Richtigkeit der vorhandenen Theorien durchaus in Frage und ich bin dadurch in die ungewöhnliche Lage gekommen, am Anfange meines Buches eine Theorie umständlich zu entwickeln, deren Unrichtigkeit ich am Ende desselben zu beweisen unternehme. Diese Theorie ist die Newton'sche, und mit ihr fallen die unmittelbar von ihr abgeleiteten, also namentlich die Theorie Bernoulli's, deren Richtigkeit, wenn auch in modificirter Form, von manchen englischen Gelehrten, z. B. Sir William Thomson, noch heutigen Tages vertreten zu werden scheint. Ob sich die Laplace'sche oder eine andere Theorie mit günstigerem Erfolge als die Newton'sche verwenden liesse, das muss ich dem Urtheile derjenigen Mathematiker anheimstellen, die mit dieser Frage sich eingehender zu beschäftigen geneigt sein möchten.

Wenn die erwähnten Resultate mich einestheils daran verhinderten, eine der vorhandenen Theorien als maassgebende Grundlage der in der Natur beobachteten Flutherscheinungen gelten zu lassen, so führten sie mich anderntheils dahin, die Fluthwellen nur als eine besondere Species der überhaupt im Wasser auftretenden Wellen zu betrachten, und es dürften deshalb nach meiner Ansicht weder diese noch jene gesondert untersucht werden. Dem ungeachtet beschränkte ich mich auf die Fluthwellen, um nicht meine Arbeit, die vielleicht ohnedies zu umfangreich ausgefallen ist, in's Maasslose anschwellen zu lassen.

Eine genügend vollständige Erschöpfung meines Themas gelang mir also ebensowenig, wie die Aufstellung einer zutreffenden Theorie. Ich habe mich dagegen bemüht, die von den Fluthwellen selbst bekannten Eigenschaften so vollständig wie möglich darzulegen, und wenn ich in diesem Bestreben nicht ganz unglücklich gewesen bin, dürften nachsichtige Kritiker meiner Arbeit, trotz ihrer empfindlichen Lücken, vielleicht nicht jeglichen Werth absprechen wollen.

Die älteren Schriften über Fluth und Ebbe konnten die Ergebnisse der neuesten Forschungen nicht berücksichtigen und haben im Ganzen, wegen der überwiegenden Wichtigkeit der letzteren, nur noch historischen Werth. Meine Arbeit ist, soviel ich weiss, die erste, welche den Versuch macht, auch die Resultate der jüngsten Beobachtungen zu umfassen. Ich hoffe, sie wird die wohlwollende Beurtheilung erfahren, welche man in der Regel einem ersten Versuche entgegenzutragen geneigt ist.

CUXHAVEN, Juli 1878.

Der Verfasser.

Einleitung.

Die wunderbare Erscheinung der Fluth und Ebbe erregte seit undenklicher Zeit das Staunen der Menschen, und die regelmässigen, von wechselnder Strömung begleiteten Schwankungen der Meeresfläche nannte man in treffendem Bilde: den Pulsschlag der Erde.

Schon die Alten ahnten die Ursache dieses Phänomens, denn Strabo erklärt, dass der Ocean die Bewegungen der Himmelskörper nachahme, und Plinius spricht klar aus, dass Sonne und Mond die Gewässer des Meeres wie Dienende nach sich zögen.

Kepler, der deutsche Astronom, war der Erste, welcher die Wirkung der Anziehungskraft in den Fluthen erkannte, und Newton's Genie stellte in dem Gesetze der Anziehung den Grundgedanken der Theorie der Fluth und Ebbe für ewige Zeiten fest.

Newton, in seinem grossen Werke: Philosophiae naturalis principia mathematica, welches im Jahre 1687 in London erschien, beschäftigt sich mit dieser Theorie an verschiedenen Stellen. Unter der Voraussetzung, dass die Erde ganz von Wasser umgeben sei, folgert er aus dem Gesetz der Schwere, dass die Kugelform der Erde durch die Anziehungskraft von Sonne und Mond in die eines Sphäroides umgewandelt werden müsse. Die grosse Axe desselben, folgert er weiter, wird bei der Umdrehung der Erde stets auf die anziehenden Himmelskörper gerichtet bleiben und daraus ergiebt sich, dass an jedem Orte der Erde täglich zweimal Fluth und Ebbe, ein Steigen und ein Sinken des Wassers, mit einander abwechseln muss. Aus den Aenderungen der Stellung von Sonne und Mond zur Erde leitet Newton die Erscheinung der Spring- und Taubenfluthen ab, und aus dem in England beobachteten Unterschiede in der Höhe dieser Fluthen versucht er die damals noch unbekannte

Masse des Mondes zu berechnen. Der Einfluss der grösseren oder geringeren Entfernung von Sonne und Mond wird von Newton angegeben, und die überaus wichtigen Wirkungen der Abweichung dieser Gestirne aus der Aequatorebene werden vollständig angedeutet, wenn auch in ihren weiteren Folgen unerörtert gelassen.

Die Newton'sche Theorie, obgleich im Gedanken vollendet, ist in der Form skizzenhaft. Newton scheint bisweilen die Folgerungen der Theorie mit den Resultaten der Beobachtung zu vermischen, und es ist häufig schwierig zu unterscheiden, ob von diesen oder jenen die Rede ist. Die Newton'sche Theorie ist deshalb in ihrer ursprünglichen Form für praktische Zwecke nicht unmittelbar verwendbar, wodurch es erklärlich wird, dass die Akademie der Wissenschaften in Paris, im Jahre 1738, einen Preis für die beste Theorie der Fluth und Ebbe ausschrieb.

Daniel Bernoulli, Professor der Anatomie und Botanik in Basel, war einer der vier Preisgekrönten. Seine Theorie beschränkt sich in der Hauptsache darauf, einen Theil der Newton'schen Theorie in mathematischen Formeln wiederzugeben; nur einen Theil, denn sie behandelt ausschliesslich die Fluthwelle auf dem Aequator, und lässt die wichtigen Andeutungen, welche Newton über die Tiden anderer Breitengrade gegeben hatte, gänzlich ausser Acht. Die Bernoulli'sche Theorie steht demnach in der Auffassung weit hinter der Newton'schen zurück, ist aber in ihrer ausgearbeiteten Form für beschränkte Zwecke des täglichen Gebrauches geeigneter als diese.

Die Newton'sche, und mit ihr die Bernoulli'sche Theorie setzen die vollkommene Beweglichkeit der den Erdball rings umgebenden Wassermasse voraus. Diese Voraussetzung, so wenig sie sich von der Wahrheit entfernen mag, kann nicht strenge richtig sein, und eine Theorie, welche sie durch richtigere Annahmen zu ersetzen wüsste, könnte offenbar die Newton'sche Theorie der Vollkommenheit näher führen.

Laplace versuchte gegen Ende des vorigen Jahrhunderts auf diesem Wege Newton's Schöpfung zu verbessern. Er selbst glaubte sein Ziel nicht verfehlt zu haben, denn, nachdem er die Grundzüge seiner Theorie dargelegt hat, rühmt er ihre Vorzüge: »Indem ich mich so wieder der Natur näherte, hatte ich die Ge»nugthuung zu sehen, dass meine Resultate sich auch wieder den »Beobachtungen näherten, namentlich in Bezug auf den geringen

»Unterschied, welcher sich in unseren Häfen zwischen den beiden »Fluthen desselben Tages zeigt, ein Unterschied, welcher nach der »Theorie Newton's sehr gross sein würde.« Astronomen, welche viele Jahre ihres Lebens dem Studium der Fluthwelle widmeten, stimmen nicht in dieses Lob ein, sondern vertreten eine abweichende Ansicht, denn Whewell sagt: »Laplace, indem er die Tiden »mehr als ein Problem der Schwingungen als des Gleichgewichtes »der Flüssigkeiten behandelte, führte unzweifelhaft eine richtigere »Anschauung über die wirkliche Thätigkeit der Kräfte ein; aber »es scheint nicht, dass er auf diesem Wege zu irgend welchen »Schlüssen gelangt ist, zu denen Newton's Art den Gegenstand »zu betrachten, nicht mit gleicher Sicherheit und grösserer Ein»fachheit führte.....« »Laplace's Lösung, abgesehen davon, »dass sie mittelst einer unsicheren Annahme erhalten wird, ruht »auf verschiedenen willkürlichen Voraussetzungen, die verhängnissvoll »für sie sind, selbst wenn man sie als eine erste Annäherung be»trachtet; und, ich glaube man wird finden, dass sie einen wesent»lichen Theil der Kräfte ausser Acht lässt.« Und Lubbock: »Bisweilen scheint Laplace die Flutherscheinungen in Brest als »abgeleitete zu behandeln, aber an anderen Stellen scheint er der »Meinung zu sein, dass sie mit denen übereinstimmen müssten, »welche man unter dieser geographischen Breite auf dem voll»kommenen Sphäroid finden würde.«

Die Vergleiche, welche Laplace zwischen den Ergebnissen seiner Theorie und den Brester Fluthbeobachtungen angestellt hat, scheinen ebenfalls das Laplace'sche Selbstlob keineswegs zu rechtfertigen. Die Unterschiede zwischen den Spring- und Taubentiden, zwischen den Aequinoctial- und Solstitialtiden lassen sich ebensowohl aus der Bernoulli'schen wie aus seiner Theorie ableiten und, trotz seines ausdrücklichen Versprechens, unterlässt Laplace es, den Nachweis zu führen, dass der in Brest zwischen den beiden Fluthen desselben Tages beobachtete Unterschied mit den Resultaten seiner Theorie übereinstimmt. Ueberdies findet sich dieser Unterschied an anderen Orten, welche dieselbe Breite wie Brest haben, mehr der Theorie Newton's als der seinigen entsprechend und, falls die Laplace'sche Theorie in Brest richtig wäre, würde sie dort falsch sein. Freilich beseitigt Laplace alle Einwände, die man gegen seine Theorie aus Flutherscheinungen, welche von den Brester abweichen, herleiten könnte, durch eine einzige unbewiesene

und überdies von Newton entlehnte Hypothese; aber daraus ist folgerichtig zu schliessen, dass entweder nur die Brester Fluthen normal sind oder, dass die Laplace'sche Theorie nur für Brest Gültigkeit hat. Da das Letztere ohne Zweifel wahrscheinlicher ist, so wird die Laplace'sche Theorie für allgemeine Zwecke wenig geeignet sein.

Nach Laplace hat Niemand den Versuch unternommen, eine neue Theorie der Fluth und Ebbe des Meeres aufzustellen, dagegen ist in neuerer Zeit der Weg mit Erfolg betreten, der in allen anderen Zweigen der Naturwissenschaft als der förderlichste sich erwiesen hat, der Weg der Beobachtung nämlich.

Den eben citirten englischen Astronomen John William Lubbock und William Whewell gebührt das Verdienst, zuerst den Versuch unternommen zu haben, die Gesetze der Flutherscheinungen unmittelbar aus der Natur abzuleiten.

Lubbock, dessen Arbeiten grösstentheils in den Philosophical Transactions der Jahre 1831 bis 1837 veröffentlicht sind, benutzte die in London und Liverpool während mehrer Decennien angestellten Beobachtungen, um den Einfluss der wechselnden Stellung von Sonne und Mond auf die Höhe und Eintrittszeit des Hochwassers zu ermitteln, und aus diesen Ermittelungen entwickelte er die Regeln, nach denen sich diese das Hochwasser betreffenden Angaben im Voraus berechnen lassen. Die englischen Tidetafeln, welche noch jetzt alljährlich nach diesen Regeln aufgestellt werden, wurden durch seine Bemühungen auf einen hohen Grad der Vollkommenheit gebracht und seine Arbeiten würden auch für die Wissenschaft von der grössten Bedeutung sein, wenn ihr Werth in dieser Beziehung nicht leider durch die Ungunst der Verhältnisse wesentlich beeinträchtigt worden wäre. Einestheils standen Lubbock nur Beobachtungen des Hochwassers zur Verfügung, da Beobachtungen des Niedrigwassers weder in London noch in Liverpool angestellt waren, anderntheils verglich Lubbock diese Beobachtungen mit der Bernoulli'schen Theorie, da er nicht auf den Gedanken gekommen zu sein scheint, sich unmittelbar an die Schöpfung Newton's zu halten. Er verglich also die, allein aus den Hochwasserbeobachtungen nur unvollständig erkannten Eigenschaften der englischen Tiden mit den theoretischen Tiden auf dem Aequator, denn nur diese kennt Bernoulli, und es ist begreiflich, dass auf diese Weise weder eine grosse Harmonie noch scharf begrenzte Unterschiede sich ergaben.

Whewell's Bemühungen verfolgten hauptsächlich ein anderes Ziel. Nach einer Hypothese von Laplace entsteht die Fluthwelle der europäischen Meere in einem weit entfernten Theile irgend eines Oceans und gebraucht einen bis zwei Tage, bis sie an unsere Küsten gelangt. Whewell versuchte die Fluthwelle auf diesem hypothetischen Laufe zu verfolgen, indem er aus den, an vielen Küstenpunkten beobachteten Eintrittszeiten des Hochwassers Linien construirte, die er »Cotidal lines« (in's Deutsche übersetzt: Isorachien) nannte, welche den Ort des Scheitels der Fluthwelle von Stunde zu Stunde angeben sollten. Seine ersten Cotidal lines vom Jahre 1833 führt er ein mit den schwungvollen Worten: »Die Linien »gleicher Hochwasserzeit für aufeinander folgende Stunden stellen »die auf einander folgenden Lagen des Scheitels der Fluthwelle vor, »und wenn wir uns einen Zuschauer denken, entsandt von der Erde »um den Gipfel dieser Welle zu beobachten, so wird er sie einmal »in vierundzwanzig Stunden in dem offenen Oceane rund um die »Erde reisen sehen, begleitet von einer anderen in zwölf Stunden »Entfernung von ihr, und Beide Zweige aussendend in die engeren »Meere, und die Art und Schnelligkeit aller dieser Bewegungen »wird angegeben mit Hülfe einer Karte der Linien gleicher Hoch»wasserzeit.« Die so eröffnete Aussicht war zu verlockend, um nicht allgemeines Interesse zu erregen. Deutsche Gelehrte fanden sich befähigt, die Lücken in den Isorachien, welche Whewell wegen mangelnder oder nicht übereinstimmender Beobachtungen gelassen hatte, nach eigenem Gutdünken in ihrem Studirzimmer auszufüllen, und in dieser Form, als Luftgebilde einer dürftigen Phantasie, prangen die Isorachien noch heutigen Tages in allen Schulatlanten Deutschlands.

Unbegreiflicher Weise blieb es völlig unbeachtet, dass Whewell funfzehn Jahre später, im Jahre 1848, nach einem vergeblichen Versuche auch die unermessliche Fläche des grossen Oceans mit Isorachien zu überziehen, sich gänzlich enttäuscht äusserte: »Ich »sehe ein, dass alle Versuche, solche Linien quer über einen weiten »Ocean mittelst Beobachtungen an seinen Ufern zu ziehen, völlig »werthlos sein müssen« . . . »Dieser Schluss wird ferner bestätigt, »indem wir finden, dass wenn wir Isorachien quer über weite Oceane »ziehen, wie zum Beispiel den Atlantischen, diese nicht mit den Tiden »übereinstimmen, welche wir auf Inseln in der Mitte des Oceans »beobachten, ohne dass wir den Linien solche Biegungen geben,

»die sie aller Einfachheit berauben und ihre weitere Bestätigung »erfordern.« Dieser, von echt wissenschaftlicher Bescheidenheit dictirten Selbstkritik wird Niemand widersprechen können, und sie beweist, dass Whewell's Bemühungen nicht von dem gewünschten Erfolge gekrönt wurden. Nichtsdestoweniger beginnt mit seinen und Lubbock's Arbeiten eine neue Aera für die Lehre von den Flutherscheinungen, denn durch sie ward der Weg zum vorurtheilsfreien Studium der Thatsachen eröffnet und geebnet.

Dieser Weg ist im letzten Jahrzehnt mit grossem Glücke weiter verfolgt worden. Wiederum zuerst in England durchforschte man nicht nur die Beobachtungen von Hoch- und Niedrigwasser, sondern man benutzte Beobachtungen der ganzen Fluthwelle, soweit diese an einem und demselben Orte ausführbar waren, als Grundlage der Untersuchungen. Dadurch gelang es wichtige Aufschlüsse über die Zusammensetzung und die Veränderungen der Fluthwelle zu erhalten. Alte festgewurzelte Hypothesen wurden in ihrer Nichtigkeit erkannt, und wenn dabei auch ein grosser Theil unserer vermeintlichen Kenntnisse zu leicht befunden und über Bord gespült wurde, so liegt doch vielleicht in dieser Erkenntniss schon der Keim einer künftigen Wissenschaft von der Fluth und Ebbe des Meeres.

Bis jetzt kann man kaum von dem Vorhandensein einer solchen Wissenschaft sprechen. Die Newton'sche Theorie ist gewissermaassen vom Himmel herabgeholt und nur ihr Grundgedanke findet sich auf der Erde verwirklicht. Die weiteren Folgerungen der Theorie mussten als Irrlehren verworfen werden, und was wir der Natur selbst abzulauschen vermochten, bezieht sich nur auf einzelne, von einander völlig isolirte Küstenpunkte.

Freilich folgern einige Gelehrte, die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde müsse abnehmen, weil die Fluthwelle immer auf derselben Seite des Mondes sich befinde; Andere beweisen, die Fluthwelle sei die Ursache aller Meeresströmungen auf der Erde; noch Andere lassen die Meere des ganzen Erdballes durch die Wirkung der Fluth und Ebbe um Hunderte von Fussen bald steigen und bald sinken; wiederum Andere leugnen Newton und finden den Ursprung aller Flutherscheinungen in unterirdischen Erdspalten — aber sie Alle wissen nicht, von wannen die Fluthwelle kommt, noch wohin sie geht. Die Fluthwelle sehen wir an den Küsten des Festlandes und der Inseln erscheinen, aber ihr Ursprungsort, ihre Fortpflanzung und ihr Verbleib sind noch ein geheimnissvolles Räthsel.

Nach dieser wenig tröstlichen Skizze einer Geschichte der Lehre von der Fluth und Ebbe des Meeres wird Niemand auf den folgenden Blättern ein abgeschlossenes Ganzes suchen dürfen. Ein im Umbau begriffenes Gebäude wird man finden, weder wohnlich, noch den künftigen Umfang — möge dieser gross oder klein ausfallen — erkennen lassend.

Der erste Abschnitt entwickelt die Tiden, wie sie sich nach der Newton'schen Theorie — und zwar ausschliesslich nach dieser — auf der vom Wasser rings umgebenen Erde bilden müssten.

Der zweite Abschnitt beschreibt die auf unserer Erde auftretenden Tiden, vergleicht sie mit der Theorie und bemüht sich, die Gesetze, welche sie regeln, zu erkennen.

Der dritte Abschnitt erörtert an einigen Beispielen die Wirkungen des Windes auf die Meeresfläche. Da Sonne, Mond und Wind in der Regel die Höhe des Meeresspiegels gleichzeitig beeinflussen, so ist es nothwendig, diese Einflüsse sämmtlich festzustellen, um eine Sonderung vornehmen zu können.

Der letzte Abschnitt fasst den Inhalt der vorangehenden zusammen und versucht, unsere jetzigen Kenntnisse von den Flutherscheinungen zu umgrenzen.

I.

Theoretische Fluth und Ebbe.

Die von Newton aufgestellte Theorie der Fluth und Ebbe des Meeres (1.) beruht auf dem von ihm entdeckten Gesetze der Schwere. Dieses Gesetz lautet: Alle Körper besitzen eine Anziehungskraft, und diese Kraft eines jeden Körpers steht in geradem Verhältnisse zu seiner Masse und im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate seiner Entfernung.

Für die Fluth und Ebbe des Meeres kommen, ausser der Erde selbst, nur Sonne und Mond in Betracht, da die übrigen Körper entweder zu klein oder zu weit von der Erde entfernt sind.

Man denke sich nun, Figur 1 stelle irgend eine, durch die Mitten von Sonne und Erde gelegte Ebene vor. S sei der Mittelpunkt der Sonne, T der Mittelpunkt der Erde und der Kreis ACBD die Oberfläche der Erde. Die Oberfläche der Sonne ist in dieser Figur, welche, wie kaum bemerkt zu werden braucht, die Entfernung der Sonne von der Erde um Vieles zu klein angiebt, nicht angedeutet, weil man sich die Masse und folglich auch die Anziehungskraft der Sonne in ihrem Mittelpunkte vereinigt denken kann und weil man deshalb auch nur diesen zu berücksichtigen nöthig hat.

Die einzelnen Theile der Erde haben verschiedene Entfernung von der Sonne und werden deshalb von dieser mit verschiedener Kraft angezogen. Der Punkt A ist der Sonne um einen halben Erddurchmesser näher als der Erdmittelpunkt und er wird deshalb stärker als dieser von der Sonne angezogen. Der Punkt B ist um ebensoviel weiter von der Sonne entfernt als der Erdmittelpunkt und wird deshalb schwächer als dieser angezogen. Aehnliches gilt von den in der Nähe von A und B gelegenen Theilen der Erde, aber je mehr man sich von diesen Punkten entfernt und den

Punkten C und D der Erdoberfläche nähert, um so mehr ändert sich die Sachlage. Die Punkte C und D nämlich sind sehr nahe ebensoweit von der Sonne entfernt wie der Erdmittelpunkt, allein die Sonne zieht sie an in den Richtungen SC und SD, welche nicht mit der Richtung SM, in welcher der Erdmittelpunkt angezogen wird, parallel sind. Die Punkte C und D werden deshalb gleichsam gegen den Erdmittelpunkt hingedrückt und werden ein Bestreben haben, sich demselben zu nähern; entgegengesetzt den Punkten A und B, welche sich von ihm zu entfernen streben müssen.

So lange die Erde fest, oder, wie in der Natur, theilweise fest und theilweise flüssig ist, so lange lässt sich kaum sagen, welche Folgen dieses Bestreben nach sich ziehen wird. Denkt man sich aber die Erde vollkommen flüssig, wie wir von jetzt an thun wollen, so sind die Folgen dieses Bestrebens leicht nachzuweisen.

Der Punkt A wird, weil er stärker angezogen wird als der Erdmittelpunkt, sich von diesem entfernen und etwa nach A' gelangen. Ebenfalls der Punkt B wird, weil die Sonne ihn schwächer anzieht als den Erdmittelpunkt, gegen diesen gleichsam zurückbleiben, sich also ebenfalls von ihm entfernen und nach B' rücken. Die Punkte C und D aber werden sich dem Erdmittelpunkte nähern und etwa nach C' und D' kommen. Da die Grösse der Erde, die Masse und die Entfernung der Sonne bekannt sind, so kann man unmittelbar nach dem Gesetz der Schwere die Lage der Punkte A' C' B' D', sowie die neue Lage für die übrigen Punkte der Erdoberfläche berechnen, und die Rechnung ergiebt, dass der Kreis A C B D in die Ellipse A' C' B' D' übergeht, und dass $AA' = BB' = 2CC' = 2DD'$ ist. Strenge genommen ist AA' um $\frac{1}{43}$ grösser als BB', allein dieser Unterschied ist so unbedeutend, dass er in der Regel vernachlässigt werden kann.

Auf diese Weise ist die Form des Erddurchschnittes in irgend einer durch die Mitten von Sonne und Erde gelegten Ebene bestimmt. Da diese Ebene ganz beliebig gewählt werden kann, falls sie nur durch die Mittelpunkte von Sonne und Erde geht, so muss auch die Form des Erddurchschnittes in allen diesen Ebenen dieselbe sein, oder, mit anderen Worten, die Kugelform der Erde wird durch die Anziehungskraft der Sonne in ein Sphäroid verwandelt, in einen Korper, welcher entsteht, wenn man die Ellipse A' C' B' D' um ihre grosse Axe A' B' sich drehen lässt.

Die Entstehung dieser Form kann man sich sehr leicht versinnlichen durch einen Gummiball, welcher an den beiden Enden eines seiner Durchmesser aus einander gezogen wird. In der Richtung des Zuges, A' B', wird sich sein Durchmesser nach beiden Seiten verlängern, während die auf diesem senkrecht stehenden Durchmesser, von denen in der Figur Einer durch die Linie C' D' dargestellt wird, sich verkürzen, wobei dann annähernd die Form eines Rotations-Ellipsoides oder Sphäroides entstehen muss. Nur insofern ist dieser Vergleich nicht ganz passend, als die Wirkung der Sonne auf den flüssigen Erdball sich nicht auf einzelne Punkte beschränkt; sämmtlichen Theilen der Erde wird einestheils durch die Anziehungskraft der Erde selbst, andererseits durch die Anziehungskraft der Sonne ihre Stelle angewiesen, und durch eine Vergleichung dieser beiden Kräfte findet man auch das Maas der durch die Sonne bewirkten Formänderung der Erde. Der Unterschied zwischen der auf den Erdmittelpunkt und der auf die Punkte A oder B wirkenden Anziehungskraft der Sonne, oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, die flutherzeugende Kraft der Sonne in den Punkten A und B, beträgt ungefähr $\frac{1}{20\,000\,000}$ der Anziehungskraft der Erde in denselben Punkten, woraus sich durch eine einfache Rechnung ergiebt, dass die durch die Sonne bewirkte Erhebung des Wassers in diesen Punkten 0,1650 m, d. i. etwa $\frac{1}{39\,000\,000}$ des Erdhalbmessers beträgt. Die Senkung des Wassers in den Punkten C und D bestimmt sich demnach zu 0,0825 m, da sie gleich der Hälfte der Erhebung in den Punkten A und B ist.

Auf dieselbe Weise findet man die flutherzeugende Kraft des Mondes. Obgleich seine Totalwirkung auf die Erde gegen die der Sonne fast verschwindet, weil seine Masse weniger als $\frac{1}{25\,000\,000}$ derjenigen der Sonne beträgt, so ist doch seine flutherzeugende Kraft 2,2136 mal grösser als die der Sonne, weil die Letztere 384 mal weiter als der Mond von der Erde entfernt ist. Denkt man sich Figur 1 den Mond ebenfalls in der Linie MS befindlich, so ist die durch ihn in den Punkten A und B bewirkte Erhebung des Wassers 0,3652 m, die durch ihn in den Punkten C und D bewirkte Senkung des Wassers 0,1826 m.

Die vereinigte Wirkung von Sonne und Mond wird also sein: in den Punkten A und B eine Erhebung des Wassers von 0,5302 m, in den Punkten C und D eine Senkung desselben von 0,2651 m; aber, da die Kugelform der Erde durch den Einfluss von Sonne und Mond für immer verschwunden ist, so kann man von dem Kreise ABCD ganz absehen, indem man sagt: Die grossen Halbaxen des Erdsphäroids MA' und MB' sind um 0,7953 m länger als die kleinen Halbaxen desselben, von welchen letzteren zwei, nämlich MC' und MD', in der Figur ersichtlich sind.

Figur 1 stellte bisher irgend eine durch die Mitten von Sonne und Erde gelegte Ebene vor. Jetzt nehme man an, diese Ebene sei ebenfalls durch die Pole der Erde gelegt. Dann sind die Punkte C' D' diese Pole und die Linie SB' fällt mit der Ebene des Erdaequators zusammen. Nun beginne die Erde sich um ihre Axe zu drehen, während Sonne und Mond unbeweglich in der Ebene des Erdaequators und in der Linie SM verharren. Da die Beweglichkeit des die Erde bildenden Wassers als vollkommen vorausgesetzt wird, so muss die grosse Axe des Erdsphäroids, A' B', fortwährend auf Sonne und Mond gerichtet bleiben und in Folge dessen muss der Wasserstand auf allen Punkten der Erdoberfläche, mit Ausnahme der beiden Pole, in jedem Augenblicke ein anderer werden. Diejenigen Punkte der Erde, welche sich gerade in der Ebene A' C' B' D' befinden, müssen allemal den höchsten, diejenigen, welche sich in der durch die Linie C' D' dargestellten Ebene befinden, müssen allemal den niedrigsten Wasserstand haben. Da es sechs Stunden dauert, bis ein Punkt der Erde aus einer Ebene in die andere gelangt, so dauert es auch sechs Stunden vom niedrigsten bis zum höchsten und wieder vom höchsten bis zum niedrigsten Wasserstande. Sechs Stunden steigt das Wasser und es ist Fluth, welche mit dem Augenblicke des höchsten Wasserstandes, mit Hochwasser endigt. Sechs Stunden fällt das Wasser, es ist Ebbe, welche mit dem Augenblicke des niedrigsten Wasserstandes, mit Niedrigwasser endigt. Jeder Ort der Erde, mit Ausnahme der beiden Pole, sieht also in vierundzwanzig Stunden zwei vollständige Fluthwellen bei sich vorüberziehen, und nur die Höhe der Fluthwelle, der Höhenunterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande, die Fluthgrösse, ist für die Orte, je nach ihrer geographischen Breite, verschieden. Auf dem Aequator beträgt die Fluthgrösse 0,7953 m; nördlich und südlich desselben

nimmt sie gleichmässig ab, entsprechend der genau bestimmten Form des Erdsphäroids, und verschwindet zuletzt vollständig auf den Polen. Auf den Polen bleibt der Wasserstand völlig unverändert, so lange Sonne und Mond sich in der Ebene des Aequators befinden.

Durch die bekannte Form des Erdsphäroids sind auch die Abstände aller Punkte seiner Oberfläche vom Erdmittelpunkt bekannt und damit ist das Gesetz des Steigens und Fallens des Wassers für jeden Punkt gegeben. Man kann dieses Gesetz oder die Curve des steigenden und fallenden Wassers ebenfalls durch Zeichnung wiedergeben. Macht man nämlich den Durchmesser eines Kreises gleich der bekannten Fluthgrösse und lässt den Kreis auf einer geraden Linie rollen, so geben die abgerollten Theile des Kreises die Abscissen, die Höhen, welche der Punkt des Kreisumfanges, in dem die Rollung begann, erreicht hat, die Ordinaten dieser Curve. Oder, mit Bezug auf die Figur 2: ist der Umfang des dargestellten Kreises auf der Linie o M abgetragen und beginnt die Rollung des Kreises im Punkte o, so gelangt der Punkt 3 des Kreises nach dem Punkte C der Linie, während der Punkt o die Höhe des Punktes 3 erreicht. Errichtet man also in C eine senkrechte Linie und zieht durch 3 eine Parallele zu o M, so findet man im Schnittpunkte der beiden Linien den Punkt 3 der gesuchten Curve. Auf dieselbe Weise die übrigen Punkte, woraus sich ergiebt, dass die Curve aus vier gleichen Vierteln besteht, indem das erste und letzte Viertel den umgekehrten Verlauf nehmen wie die beiden mittleren.

Laplace, welcher diese Herstellungsart der Curve zuerst angegeben hat*), spricht das derselben zu Grunde liegende Gesetz mit folgenden Worten aus: »ainsi la mer, en s'élevant, baigne en temps égal, des arcs égaux de cette circonférance«, was jedoch nur dann richtig sein würde, wenn Sonne, Mond und Erde sich während zwölf Stunden in einer geraden Linie befänden. Da dies aber bekanntlich nicht der Fall ist, so ist es richtiger, sich die Linie auf andere Weise entstanden zu denken. Die Curve stellt nämlich gleichzeitige Wasserstände vor und nicht aufeinander folgende, das ist der Unterschied. Der Ort, in dem die Sonne culminirt (die Sonne culminirt für einen Ort Mittags, indem sie gerade im Süden steht,

---

*) Laplace entdeckte keineswegs das Gesetz selbst, denn dies war von Newton bereits mit zweifelloser Klarheit ausgesprochen.

und dies nennt man die obere Culmination; die untere Culmination findet statt um Mitternacht, indem sie sich genau zu Norden des Ortes befindet), hat Hochwasser und es ist für ihn zwölf Uhr; die Orte, von denen die Sonne neunzig Längengrade entfernt ist, haben Niedrigwasser und es ist für sie sechs Uhr. Die Curve stellt also die gleichzeitigen Wasserstände dar für die Orte eines und desselben Breitengrades, welche 0 bis 90 Längengrade westlich oder östlich von demjenigen Meridiane, in dem die Sonne culminirt, sich befinden; zählt man die Meridiane von Osten nach Westen, so entsprechen die in der Figur beigeschriebenen Längengrade und Zeiten den darüberstehenden Punkten der Curve, wenn die Sonne — und in diesem Falle auch der Mond — im Längengrade 90 culminirend angenommen wird. Die Linie 0M ist demnach ein um die halbe Erde reichender, aber abgewickelter, d. h. in eine Ebene gelegter Breitengrad und die Abstände der Curve von dieser Linie sind die Höhen des Wassers über seinem niedrigsten Stande in den betreffenden Punkten dieses Breitengrades. Aus diesem Grunde nenne ich die Curve das Profil des theoretischen Wasserstandes für die Stellung von Sonne und Mond in einem und demselben Meridiane und in der Aequatorebene.

In dem soeben betrachteten Falle haben wir angenommen, dass die Wirkungen von Sonne und Mond sich ohne irgend welche Störungen summiren und dieselbe Annahme dürfen wir für diejenigen Fälle machen, in denen Sonne und Mond sich nicht in demselben Meridiane befinden. Die Wirkungen beider Gestirne lassen sich immer gesondert betrachten, da aber nur ihre vereinigte Wirkung zur Erscheinung kommen kann, so ist es in jedem Falle die Aufgabe, diese aus den Einzelwirkungen herzustellen.

Bleiben wir zunächst bei der Annahme stehen, dass Sonne und Mond sich in der Ebene des Aequators befinden, so erhalten wir die Profile des theoretischen Wasserstandes für die verschiedenen Culminationszeiten des Mondes, wenn wir uns, entsprechend Figur 2, die Profile der Sonnen- und Mondwelle getrennt aufzeichnen, und sie dann, gemäss dem Unterschiede zwischen ihren Culminationszeiten, gegen einander verschieben und addiren. Culminirt z. B. der Mond für einen Ort, dessen Meridian die Sonne bereits vor einer Stunde passirt hat, so befindet sich diese schon funfzehn Längengrade westlich von diesem Orte, und um ebensoviel ist der Scheitel der von ihr erzeugten Welle von dem Scheitel der Mond-

welle entfernt. Man hat also, um das Profil des theoretischen Wasserstandes für diesen Fall zu erhalten, die Sonnen- und Mondwelle um eine Stunde gegen einander zu verschieben und dann zu summiren. Es ist klar, nicht nur, dass die so entstehende Welle eine geringere Höhe als bei gleichzeitiger Culmination von Sonne und Mond erreichen wird, sondern auch, dass der Zeitpunkt ihres Hochwassers zwischen die Culminationszeiten von Sonne und Mond fallen wird, sowie auch, dass das Niedrigwasser höher werden und dass die Eintrittszeit desselben sich ebensoviel verschieben muss wie die des Hochwassers. In Figur 3 sind die auf diese Weise erhaltenen Profile des theoretischen Wasserstandes für den Aequator verzeichnet. Sie gelten ebenso für alle übrigen Breitengrade, nur ist für diese ein anderer Höhenmaassstab zu wählen, weil der auf der Figur angegebene nur für den Aequator gilt. Die Profile für die gleichzeitige und für die um sechs Stunden verschiedene Culmination von Sonne und Mond sind mit vollen Linien, diejenigen für die Unterschiede von ein, zwei, drei, vier und fünf Stunden in der Culminationszeit sind mit gestrichelten Linien ausgezogen. Hochwasser ist überall durch einen kleinen Kreis markirt, dem der Unterschied zwischen der Culminationszeit von Sonne und Mond in Stunden beigeschrieben ist. Statt des niedrigsten ist der mittlere Wasserstand eingezeichnet, denn dieser ist für alle Culminationszeiten des Mondes selbstverständlich derselbe. Man sieht nun aus der Figur, in welchem Maasse die Höhen und Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser sich mit der Culminationszeit des Mondes verändern, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Letztere stets mit der Linie 0^h zusammen fällt und dass man sich also den Gipfel der Sonnenwelle nacheinander in den Linien 1^h, 2^h, 3^h u. s. w. zu denken hat. Culminirt der Mond ein bis vier Stunden später als die Sonne, so entfernt sich die Zeit des Hochwassers immer weiter von der Culminationszeit des Mondes. Wird der Unterschied zwischen den Culminationszeiten beider Gestirne aber noch grösser, so nähert sich das Hochwasser wieder der Culminationszeit des Mondes, und es fällt mit ihr gerade wieder zusammen, wenn der Unterschied sechs Stunden erreicht hat, weil dann das Mondeshochwasser genau mit dem Sonnenniedrigwasser zusammentrifft, also weder nach der einen noch nach der anderen Seite abgelenkt werden kann. Beträgt der Unterschied mehr als sechs Stunden, so vereinigt sich die Mondwelle mit der nächsten

Sonnenwelle und der Zeitpunkt des vereinigten Hochwassers kehrt in umgekehrter Reihenfolge wieder zu seinem Anfangspunkte zurück, diesen erreichend, wenn die Sonne zwölf Stunden nach dem Monde durch den Meridian geht, oder, was dasselbe sagt, wenn eine der Culminationen der Sonne mit der entgegengesetzten des Mondes gleichzeitig eintritt.

Mit den Höhen des Hochwassers verhält es sich etwas anders. Diese, wie aus der Figur ersichtlich, müssen fortwährend abnehmen, bis die Sonne sechs Stunden nach dem Monde culminirt. Dann wird die Höhe am geringsten, weil der Scheitel der Mondeswelle genau in das Thal der Sonnenwelle fällt, die Höhe der ersteren also um die volle Höhe der letzteren vermindert wird. Vom Niedrigwasser gilt dasselbe, nur entgegengesetzt, wie schon aus der symmetrischen Form zur Linie des mittleren Wasserstandes hervorgeht.

Die Tage der gleichzeitigen Culmination von Sonne und Mond nennt man die Syzygien, die Tage, an denen ihre Culminationszeiten um sechs Stunden verschieden sind, die Quadraturen. Trifft die obere Culmination des Mondes mit dem Mittage zusammen, so ist Neumond; tritt sie sechs Uhr Abends ein, so haben wir das erste Viertel; fällt sie auf Mitternacht, so ist Vollmond, und ereignet sie sich Morgens sechs Uhr, so zeigt der Mond das letzte Viertel. Der Zeitraum von einem Neu- oder Vollmond bis zum nächsten heisst ein synodischer Monat. Der Wechsel von der höchsten bis zur niedrigsten, und wieder zurück bis zur höchsten Fluth, vollzieht sich also in der Zeit eines halben synodischen Monats und wird deshalb mit dem Namen der halbmonatlichen Ungleichheit bezeichnet. In den Syzygien ist die Summe der Wirkungen von Sonne und Mond die grösste, es ist Springfluth; in den Quadraturen ist die Summe ihrer Wirkungen die kleinste, es ist Taubefluth.

Zur weiteren Entwickelung der theoretischen Fluthen ist eine andere Form der Darstellung für die halbmonatliche Ungleichheit zu wählen, welche indess aus der vorigen Figur unmittelbar entnommen werden kann.

Zeichnet man diese Figur in grösserem Maassstabe auf, so kann man die Aenderungen des Hochwassers mit beliebiger Genauigkeit darauf abmessen und so auftragen, wie in der Figur 4 geschehen ist. Bezeichnet in dieser Figur die waagrechte Linie die Zeit, d. h. den Augenblick der Mondesculmination, bezeichnen ferner die zu dieser senkrechten, mit 0^h, 1^h, 2^h u. s. w. be-

zeichneten Linien den Unterschied in der Culminationszeit zwischen Sonne und Mond, oder, was dasselbe sagt, die Tagesstunde der Mondesculmination, so kann man aus der vorigen Figur die Eintrittszeiten des Hochwassers für die vollen Stunden der Mondesculmination auf den senkrechten Linien absetzen, und indem man die so erhaltenen einzelnen Punkte durch eine stetige Curve mit einander verbindet, erhält man die theoretische halbmonatliche Ungleichheit der Zeit des Hochwassers, aus der man den Zeitpunkt des Hochwassers für jeden beliebigen Zeitpunkt der Mondesculmination entnehmen kann. Culminirt der Mond um ein Uhr, so tritt das Hochwasser achtzehn Minuten früher, also um $12^h\ 42'$ ein; culminirt er um vier Uhr, so tritt das Hochwasser dreiundfunfzig Minuten früher ein, also um $3^h\ 7'$ u. s. w.

In ähnlicher Weise erhält man die Höhen des Hoch- und Niedrigwassers für einen beliebigen Unterschied in der Culminationszeit von Sonne und Mond, wenn man aus Figur 3 die für die vollen Stunden gefundenen Höhen entnimmt, und, wie in Figur 5 geschehen, in gleichen Abständen vom mittleren Wasserstande absetzt und durch stetige Linien mit einander verbindet. Daraus ergiebt sich für den Aequator, oder, mit Aenderung des Maassstabes für einen beliebigen Breitengrad die theoretische halbmonatliche Ungleichheit der Höhe.

Aus diesen halbmonatlichen Ungleichheiten kann man nun die Höhen und Eintrittszeiten aufeinander folgender Hoch- und Niedrigwasser bestimmen, wenn man die Bewegungen der Erde und des Mondes entsprechend berücksichtigt. Die Erde dreht sich täglich einmal um ihre Axe und nach vierundzwanzig Stunden tritt die Sonne wieder in denselben Erdmeridian. Die Mondestage sind länger, denn es dauert durchschnittlich $24^h\ 50'\ 28{,}32''$ bis der Mond denselben Erdmeridian wieder erreicht. Dieser Unterschied in der Länge der Sonnen- und Mondestage ist von der grössten Bedeutung und characterisirt die Flutherscheinungen. Weil die Mondeswelle mehr als die doppelte Höhe der Sonnenwelle erreicht, so richten sich, wie schon aus dem Vorigen ersichtlich war, die Flutherscheinungen nach den Mondestagen und werden durch den Einfluss der Sonne nur mehr oder weniger modificirt. Die mittlere Dauer einer Fluthwelle trifft daher mit der mittleren Dauer eines halben Mondestages zusammen; sie beträgt also $12^h\ 25'\ 14{,}16''$ und diesen Zeitraum, sowie die in demselben sich ereignenden Fluth-

erscheinungen, nennt man eine Tide, welche gewöhnlich von einem Niedrigwasser bis zum folgenden gerechnet wird. Da nun die Stellung des Mondes zur Erde in jedem Augenblicke eine andere ist, so sind auch die verschiedenen Theile der an einem bestimmten Punkte der Erdoberfläche vorüberziehenden Fluthwelle unter verschiedenen Umständen erzeugt, und wenn das Hochwasser einer Welle gehört, welche bei gleichzeitiger Culmination von Sonne und Mond gebildet wurde, so entspricht das darauf folgende Niedrigwasser einer Anderen, welche entstand, als der Mond um die einem viertel Mondestage entsprechende Verspätung, also um 12′ 37,08″ nach der Sonne culminirte. Würde man also z. B. an irgend einem Punkte des Aequators den Wasserstand vom Hoch- bis zum Niedrigwasser beobachtet haben und die gleichzeitige Culmination von Sonne und Mond hätte im Augenblicke des Hochwassers stattgefunden, so würde man zwar auch die Höhe des Hochwassers der in Figur 3 mit 0^h oder 12^h bezeichneten Curve erhalten, aber weder diese Curve selbst noch eine der Uebrigen, sondern die erhaltene Curve müsste den allmähligen Uebergang zu einem Niedrigwasser bilden, welches zwischen die Niedrigwasser der mit 0^h und der mit 1^h bezeichneten Profile träfe. Solche Linien, welche durch Beobachtung — falls diese möglich wäre — der theoretischen Fluthwellen an einem bestimmten Orte der Erdoberfläche entstehen, nennt man theoretische Fluthcurven dieses Ortes. Sie sehen, namentlich in dem hier vorausgesetzten einfachen Falle, den theoretischen Profilen sehr ähnlich, und werden deshalb, zum Nachtheile einer klaren Auffassung der Sachlage, sehr häufig mit diesen verwechselt.

Zur Bestimmung der Höhen aufeinander folgender theoretischer Tiden braucht man also nur in der vorigen Figur für jede Fluth und jede Ebbe 12′ 37,08″ auf der Linie des mittleren Wasserstandes abzusetzen, abwechselnd nach oben und unten senkrechte Linien zu ziehen, und die dadurch mit den Curven der halbmonatlichen Ungleichheit für Hoch- und Niedrigwasser sich ergebenden Schnittpunkte, zur Veranschaulichung der Zeitfolge, durch gerade Linien mit einander zu verbinden. Die in Figur 6 gleichfalls beigefügte Eintheilung nach Tagen ergiebt sich daraus, dass die Culmination des Mondes täglich um 50′ 28,32″ später eintritt; oder auch daraus, dass die Dauer einer Tide 12^h 25′ 14,16″ betragen muss. Dabei ist in der Figur angenommen, dass die dargestellte Periode mit dem Augenblicke der unteren Culmination

der Sonne und der oberen Culmination des Mondes beginnt, also gerade mit Vollmond, woraus sich ergiebt, dass das erste Hochwasser genau um Mitternacht eintreten muss. Das folgende Niedrigwasser findet schon eine etwas veränderte Stellung der beiden Gestirne gegen einander; es ist deshalb nicht, wie der völlig zusammen treffenden grössten Wirkung von Sonne und Mond entsprechen würde, 0,7953 ^{m} sondern etwas weniger unter dem vorangegangenen Hochwasser. Aehnlich rücken die nächsten Hochwasser allmählig herunter, die Niedrigwasser hinauf, bis zur Taubentide, welche am achten Tage nach Vollmond stattfindet. Die Fluthgrösse der Taubentide sinkt auch nicht völlig auf den Unterschied von 0,3003 ^{m} zwischen der Sonnen- und Mondwelle herab, sondern sie muss etwas grösser ausfallen, weil nicht zugleich Hoch- und Niedrigwasser auf die Wendepunkte der Curven der halbmonatlichen Ungleichheit treffen können. Bei der nächsten Springfluth, welche bei Neumond, am funfzehnten Tage nach Vollmond eintritt, findet eine genau gleichzeitige Culmination von Sonne und Mond überhaupt nicht statt, weil der halbe synodische Monat, — ebenso wie der ganze — eine volle Zahl von Tiden nicht enthält, sondern etwas mehr als $28^{1}/_{2}$ Tiden. Man sieht in Figur 6, in welcher das Ende des halben synodischen Monates durch eine senkrechte gestrichelte Linie angegeben ist, dass das 28. Niedrigwasser nach Vollmond ungefähr mit ihm zusammentrifft. Gewöhnlich culminiren Sonne und Mond in den Syzygien nicht genau gleichzeitig, auch in den Quadraturen nicht genau sechs Stunden nach einander und für die Tiden sind aus diesem Grunde nicht die Augenblicke von Neu- und Vollmond, erstem und letzten Viertel, sondern nur der Augenblick der Mondesculmination ist für sie entscheidend.

Die Eintrittszeiten auf einander folgender Tiden findet man ebenso aus der halbmonatlichen Ungleichheit der Zeit, wie ihre Höhen aus derjenigen der Höhe. Nur hat man sich dabei zu erinnern, das Niedrigwasser durchschnittlich 6^{h} 12′ 37,08″ vor dem folgenden Hochwasser eintritt, und demgemäss die übrigens übereinstimmenden halbmonatlichen Ungleichheiten der Zeit für Hoch- und Niedrigwasser in diesem Abstande von einander aufzuzeichnen. Die Eintheilung ist dann ganz wie bei den Höhen vorzunehmen, wodurch sich Figur 7 ergiebt, welche nicht nur für den Aequator, sondern gleichmässig für alle Breitengrade gilt.

Aus der Form der Curven folgt die Eigenthümlichkeit, dass die Fluth- und Ebbedauer sich mit der Zeit der Mondesculmination verändert, je nachdem die einander folgenden Hoch- und Niedrigwasser einen höheren oder tieferen Punkt der Curve treffen. Man findet aus der Zeichnung, dass die Fluthdauer der Springtide am kürzesten, die der Taubentide am längsten ist und dass von einer zur andern ein allmähliger Uebergang stattfindet. Die Ebbedauer verhält sich gerade entgegengesetzt und es ist ungefähr:

Fluthdauer der Springtide 6^h $9'$, der Taubentide 6^h $22'$.
Ebbedauer der Springtide 6^h $16'$, der Taubentide 6^h $3'$.

Wenn, wie bisher angenommen wurde, Sonne und Mond sich stets in ihrer mittleren Entfernung und in der Ebene des Aequators befänden, so würden die Fluthen, ausser der soeben betrachteten halbmonatlichen Ungleichheit, keine Veränderungen zeigen. Auf dem ganzen Erdballe würde stets auf der ganzen Ausdehnung jedes Meridianes sowohl Hoch- wie Niedrigwasser gleichzeitig eintreten, die Tiden verschiedener Breitengrade würden sich nur durch ihre Höhe von einander unterscheiden, und auf jedem Breitengrade würde sich nur der einförmige Wechsel zwischen Spring- und Taubentiden, zwischen Tauben- und Springtiden beobachten lassen. Zieht man dagegen die wirklich stattfindenden Veränderungen in der Stellung von Sonne, Erde und Mond gegen einander in Betracht, so ergiebt sich eine unübersehbare Mannigfaltigkeit in den theoretischen Tiden, eine Mannigfaltigkeit, so gross, dass sie selbst nach Zehntausenden von Jahren sich nicht erschöpft zeigt. Sonne und Mond verändern unaufhörlich ihre Entfernung von der Erde und in der Ebene des Aequators befinden sie sich nur ausnahmsweise und vorübergehend, indem sie gewöhnlich nach der einen oder andern Seite desselben abweichen oder decliniren. (2.)

Nach der gewöhnlichen Annahme erschöpfen sich zwar in neunzehn Jahren alle in den Tiden möglichen Veränderungen, und in Bezug auf den Mond ist diese Annahme auch annähernd richtig, weil sich während dieses Zeitraumes der Kreislauf in dem Wechsel seiner Declination ungefähr einmal, derjenige in dem Wechsel seiner Entfernung ungefähr zweimal vollzieht, aber für die Sonne müsste man einen sehr viel längeren Zeitraum zu Grunde legen, da es 20 800 Jahre dauert, ehe der Kreislauf in dem Wechsel ihrer Entfernung ein einziges Mal sich vollzogen hat. Es ist weder möglich noch nothwendig, die Wirkung aller dieser Veränderungen

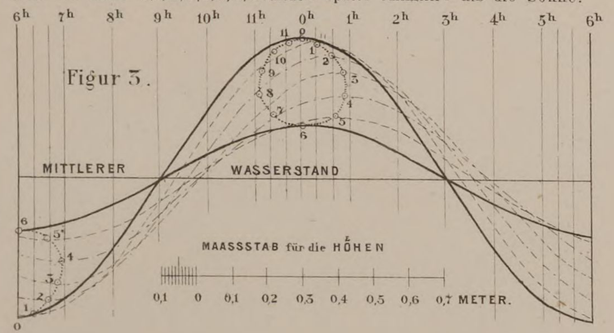
bis in ihre Einzelheiten zu verfolgen, um aber eine richtige Vorstellung von den theoretischen Flutherscheinungen zu gewinnen, muss man sowohl die Folgen der veränderten Entfernung der Gestirne, wie namentlich die ihrer Abweichung aus der Aequatorebene sich klar machen.

Die Wirkung der verschiedenen Entfernung der Gestirne ist sehr leicht festzustellen, da sie nur in einer Aenderung der Wellengrösse besteht. Die Wellengrösse ändert sich wie die dritten Potenzen der Entfernungen, woraus hervorgeht, dass die Fluthgrösse der Sonnenwelle, welche bei mittlerer Entfernung der Sonne 0,2475 m beträgt, zwischen 0,235 m und 0,260 m im Laufe des Jahres schwanken muss. Die Grösse der Mondwelle ist, in Folge der grösseren Unterschiede in der Mondentfernung, einem viel stärkeren Wechsel unterworfen, denn die Grenzwerthe derselben bestimmen sich zu 0,460 m und 0,683 m, während die Fluthgrösse der Mondwelle für die mittlere Entfernung des Mondes gleich 0,5478 m gefunden wurde. Die beträchtlichen Aenderungen in dem zeitweiligen Verhältnisse der Sonnen- zur Mondesfluth und in dem Verhältnisse der Spring- zu den Taubentiden ergeben sich unmittelbar aus diesen Zahlen.

Verwickelter ist es, die Wirkungen der Declination von Sonne und Mond zu verfolgen. Wir untersuchen zuerst den einfachsten Fall und nehmen an, dass Sonne und Mond dieselbe Declination haben und sich in demselben Meridiane befinden. In Figur 8 sei EA der Aequator, P und P′ seien die Pole und C der Mittelpunkt der Erde. M sei der Mond und S die Sonne, beide gleichmässig $23^1/_2$ Grad declinirend. Dieser Stellung von Sonne und Mond entsprechend, wird die grosse Axe des durch ihre vereinte Wirkung erzeugten Sphäroids in die Linie G G′ fallen, und N N′ ist eine seiner kleinen Axen. Auf allen Punkten der Erdoberfläche, welche in den Meridian GPG′P′ fallen, wird Hochwasser sein, und Niedrigwasser auf allen Punkten des Kreises, welcher sich in der Figur durch die Linie NN′ darstellt. Denkt man nun die Erde sich drehend, während Sonne und Mond ihre Stellung unverändert behalten, dann wird auch die grosse Axe des Sphäroids während der Drehung in der Linie GG′ bleiben und das Hochwasser, welches nach zwölf Stunden wieder in demselben Meridiane eintritt, wird auf den meisten Punkten desselben von dem vorigen verschieden sein, z. B. der Punkt B, welcher vor dem Beginne der zwölfstündigen Drehung

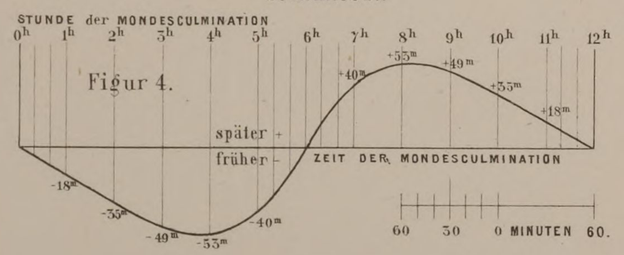
PROFILE des theoretischen **WASSERSTANDES** auf dem **AEQUATOR**
wenn der Mond 0,1,2,3,4,5,6, Stunden später culminirt als die Sonne.

Figur 3.



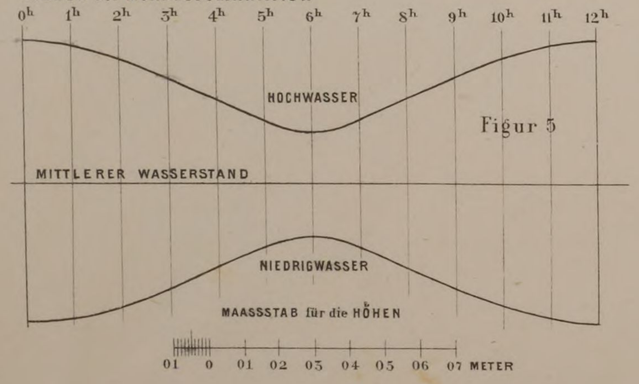
THEORETISCHE Halbmonatliche **UNGLEICHHEIT** der **ZEIT**
HOCHWASSER

Figur 4.

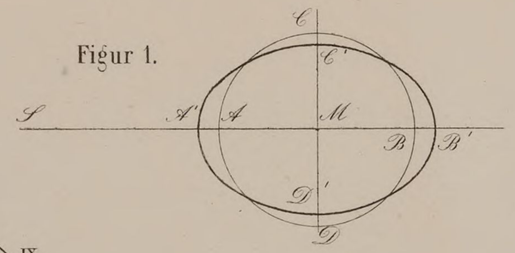


THEORETISCHE HALBMONATLICHE UNGLEICHHEIT
der **HÖHE.**

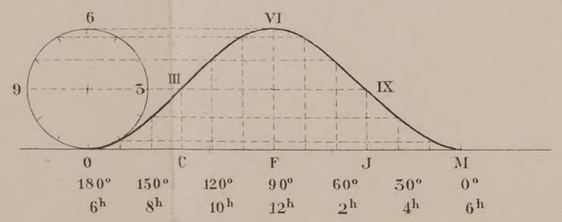
Figur 5



Figur 1.

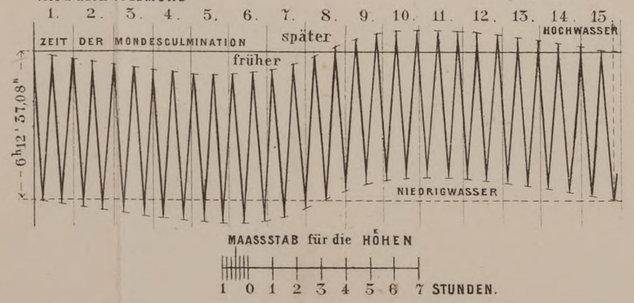


Figur 2.



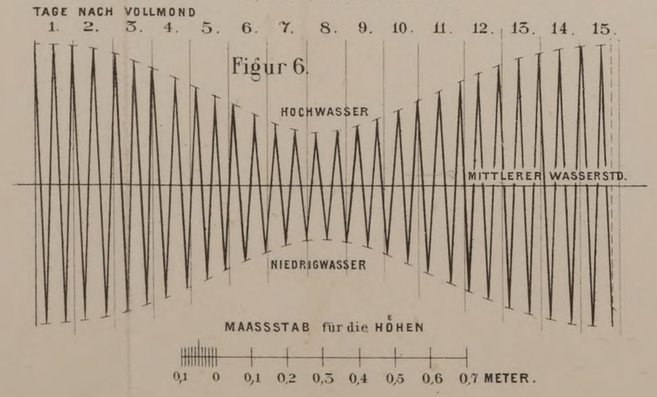
EINTRITTSZEIT aufeinander folgender theoretischer **TIDEN**
wenn Sonne und Mond sich in der Aequatorebene befinden
Von Vollmond bis Neumond

Figur 7.

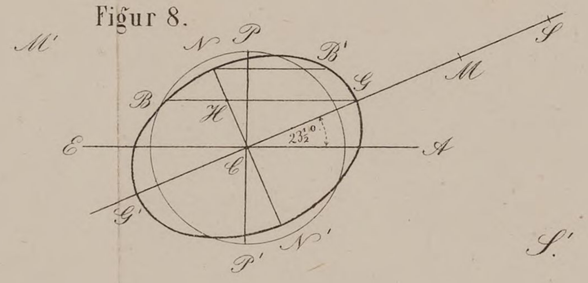


HÖHE aufeinander folgender theoretischer **TIDEN** auf
dem Aequator wenn Sonne und Mond sich in der Aequatorebene befinden
Von Vollmond bis Neumond

Figur 6.

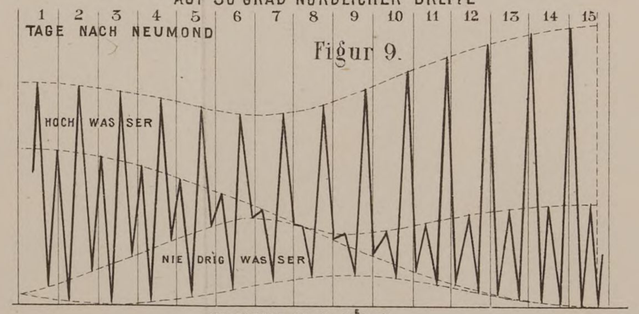


Figur 8.



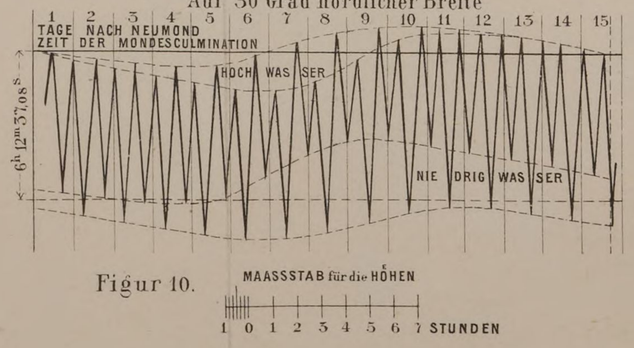
HÖHE aufeinander folgender **THEORETISCHER TIDEN**
wenn der Mond 23½ Grad nördlich, die Sonne 23½ Grad südlich declinirt
und wenn ihre Culminationszeiten um 0 bis 12 Stunden verschieden sind
AUF 30 GRAD NÖRDLICHER BREITE

Figur 9.



EINTRITTSZEIT aufeinander folgender **THEORETISCHER TIDEN**
wenn der Mond 23½ Grad nördlich, die Sonne 23½ Grad südlich declinirt
und wenn ihre Culminationszeiten um 0 bis 12 Stunden verschieden sind
Auf 30 Grad nördlicher Breite

Figur 10.



Wilh. Fenck, Lith. Anstalt, Hamburg.

siebenundvierzig Breitengrade von dem Gipfelpunkt G′ des Sphäroids entfernt lag, trifft jetzt mit dem Gipfelpunkte G zusammen, und das Hochwasser wird für ihn eine beträchtlich grössere Höhe erreichen. Aehnlich ist es mit allen Punkten zwischen dem Aequator, über den Punkt B hin, bis zum Punkte N. Auf dem Aequator selbst hat das Hochwasser beidemal dieselbe Höhe, da er stets $23^1/_2$ Breitengrade von den Gipfeln des Sphäroids entfernt bleibt, aber diese Höhe wird selbstverständlich geringer sein, als wenn Sonne und Mond sich in der Aequatorebene befinden. Der Punkt N fällt einmal in die Niedrigwasserlinie, er hat also garkein Hochwasser; nach zwölf Stunden befindet er sieh im Punkte B′, also um siebenundvierzig Breitengrade von der Niedrigwasserlinie entfernt. Während der zwölf Stunden musste auf diesem Punkte die Höhe des Wassers beständig zunehmen, so dass statt einer Fluth und einer Ebbe nur eine Fluth, aber von doppelter Dauer sich einstellte. Dasselbe ist der Fall auf allen Punkten zwischen N und dem Nordpole, oder zwischen N′ und dem Südpole, nur mit dem Unterschiede, dass die Fluthgrösse fortwährend geringer wird, bis sie auf den Polen selbst völlig verschwindet. Hier ist der Wasserstand, der Declination der Gestirne entsprechend, zwar gewachsen, aber er bleibt so lange ungeändert, wie die Declination der Gestirne dieselbe bleibt. Ausser der in der Höhe der beiden auf einander folgenden Hochwasser auftretenden Verschiedenheit, findet sich eine andere in der Dauer der beiden aufeinander folgenden Tiden. Die Niedrigwasserlinie NN′ halbirt den Aequator und deshalb werden die Tiden auf dem Aequator auch Beide von gleicher Dauer sein. Die übrigen Breitengrade aber werden nicht von dieser Linie halbirt, und deshalb müssen auf demselben Tiden von ungleicher Dauer entstehen. Auf dem Breitengrade BG ist das Stück BH viel kürzer als das Stück HG, und aus diesem Grunde muss die Fluth, welche dem niedrigeren Hochwasser vorangeht, kürzer ausfallen als die, welche dem höheren Hochwasser vorangeht; ebenfalls die Ebbe, welche dem niedrigeren Hochwasser folgt, muss kürzer ausfallen als die, welche dem höheren Hochwasser folgt. Vom Punkt H nördlich wächst dieser Unterschied, bis er im Punkte N seinen höchsten Werth erreicht und hier mit dem gleichzeitigen Verschwinden eines Hochwassers die beiden Tiden eines Tages in eine einzige verwandelt.

Die auf diese Weise entstandenen Unterschiede zweier aufeinander folgenden Tiden nennt man, da sie sich während der Dauer eines Tages ausgleichen, die tägliche Ungleichheit derselben, und in diesem Falle haben wir eine tägliche Ungleichheit in der Höhe des Hochwassers und eine andere in der Eintrittszeit des Niedrigwassers.

Denkt man sich nun, bei unveränderter Declination von Sonne und Mond, ihre Stellung zu einander soweit verändert, dass der Mond sich gerade im entgegengesetzten Meridiane, also in M' befindet, so werden zwar ebenfalls tägliche Ungleichheiten in der Höhe des Hochwassers und in der Zeit des Niedrigwassers auftreten, aber das Maass derselben kann nicht mehr mit dem im vorigen Falle beobachteten übereinstimmen, weil Mond und Sonne jetzt im entgegengesetzten Sinne wirken. Das höhere Mondeshochwasser trifft jetzt mit dem niedrigeren Sonnenhochwasser und das niedrigere Mondeshochwasser mit dem höheren Sonnenhochwasser zusammen; diejenige Tide, deren Dauer durch den Mond verkürzt wird, wird durch die Sonne verlängert, und umgekehrt, so dass der Betrag der täglichen Ungleichheit geringer ausfallen muss, als wenn Sonne und Mond in demselbenMeridiane stehen. Während des Ueberganges des Mondes aus seiner vorigen Stellung M, in seine jetzige Stellung M', werden sich, wie man sich unschwer vorstellen kann, noch weitere Ungleichheiten in je zwei aufeinander folgenden Tiden einstellen; eine tägliche Ungleichheit auch in der Zeit des Hochwassers und in der Höhe des Niedrigwassers wird sich zeigen, und den Betrag derselben für jeden Zeitpunkt der Mondesculmination findet man, wenn man sich die Profile des theoretischen Wasserstandes ebenso aufzeichnet, wie für die Stellung von Sonne und Mond im Aequator in Figur 3 geschehen ist, und indem man sich dann aus diesen Profilen wiederum die halbmonatlichen Ungleichheiten ableitet. Es kätte kein Interesse, die letzteren abermals für den Aequator zu bestimmen, denn diese würden sich nur durch eine kaum merkbare Verringerung der Hochwasserhöhen von denen in Figur 4 und 5 unterscheiden; ich habe sie deshalb für dreissig Grad nördlicher Breite construirt und daraus die in den Figuren 9 und 10 dargestellten Höhen und Eintrittszeiten aufeinander folgenden Tiden gefunden, unter der Voraussetzung jedoch, dass Sonne und Mond während eines halben synodischen Monates unverändert, die erstere $23^1/_2$ Grad südlich, der letztere $23^1/_2$ Grad nördlich decliniren.

Als Anfangspunkt des dargestellten halben synodischen Monates ist der Augenblick des Neumondes gewählt, in welchem die Sonne sich in S', der Mond in M befindet. Die grossen Axen der beiden durch Sonne und Mond gebildeten Sphäroide treffen also ebensowenig zusammen, wie in dem Falle, dass die Sonne sich in S, der Mond in M' befindet. Die tägliche Ungleichheit in der Höhe des Hochwassers ist deshalb verhältnissmässig unbedeutend, sie wächst aber, jemehr sich die Culminationszeiten von Sonne und Mond von einander entfernen; ebenso wie die tägliche Ungleichheit in der Höhe des Niedrigwassers, welche auftritt, sowie Sonne und Mond nicht mehr gleichzeitig culminiren. Die Linie der höheren Niedrigwasser nähert sich dabei immer mehr der Linie der niedrigeren Hochwasser, und am achten Tage nach Neumond ist in Folge dessen das niedrigere Hochwasser höher als das höhere Niedrigwasser; das Hochwasser ist unter diesen Umständen nicht mehr als solches zu erkennen, und die beiden Tiden des Tages verschmelzen zu Einer, die aber während der Ebbe, wegen des gleichsam verkümmerten Hochwassers, eine auffallende Unregelmässigkeit zeigt. Am neunten Tage sind beide Hochwasser schon wieder deutlich zu unterscheiden, da die höheren Niedrigwasser sich stark senken, während die niedrigeren Hochwasser steigen. Am dreizehnten Tage nach Neumond verschwindet die tägliche Ungleichheit in der Höhe des Niedrigwassers. Der Unterschied je zweier Hochwasser wächst dagegen fortwährend bis zum Vollmonde, da dann erst die obere Culmination des Mondes mit der unteren Culmination der Sonne nahezu zusammentrifft, die Axe des durch Beide gebildeten Sphäroides mithin wieder in die Linie GG' fällt, wodurch in diesen Punkten sowohl wie in der Nähe derselben das Hochwasser seine grösste Höhe erhält.

Aehnliche Ungleichheiten finden wir in den Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser, verglichen mit der Zeit der Mondesculmination, wie aus Figur 10 ersichtlich ist. Hier zeigt sich stets ein Parallelismus mit den ungleichnamigen Ungleichheiten der Höhen. Mit Neumond beginnen die täglichen Ungleichheiten in der Höhe des Niedrigwassers und in der Zeit des Hochwassers; am dreizehnten Tage nach Neumond verschwinden gleichzeitig die Ungleichheiten in der Höhe des Niedrigwassers und in der Zeit des Hochwassers, und sowohl in der Zeit wie in der Höhe nähern sich Hoch- und Niedrigwasser am Meisten am achten Tage nach Neumond. Dieser Zusam-

menhang zwischen den täglichen Ungleichheiten der Zeit und der Höhe findet sich bei den theoretischen Tiden unter allen Umständen wieder, und für den speciellen Fall gleicher Declination und gleichzeitiger Culmination ist vorher seine Nothwendigkeit auch nachgewiesen worden.

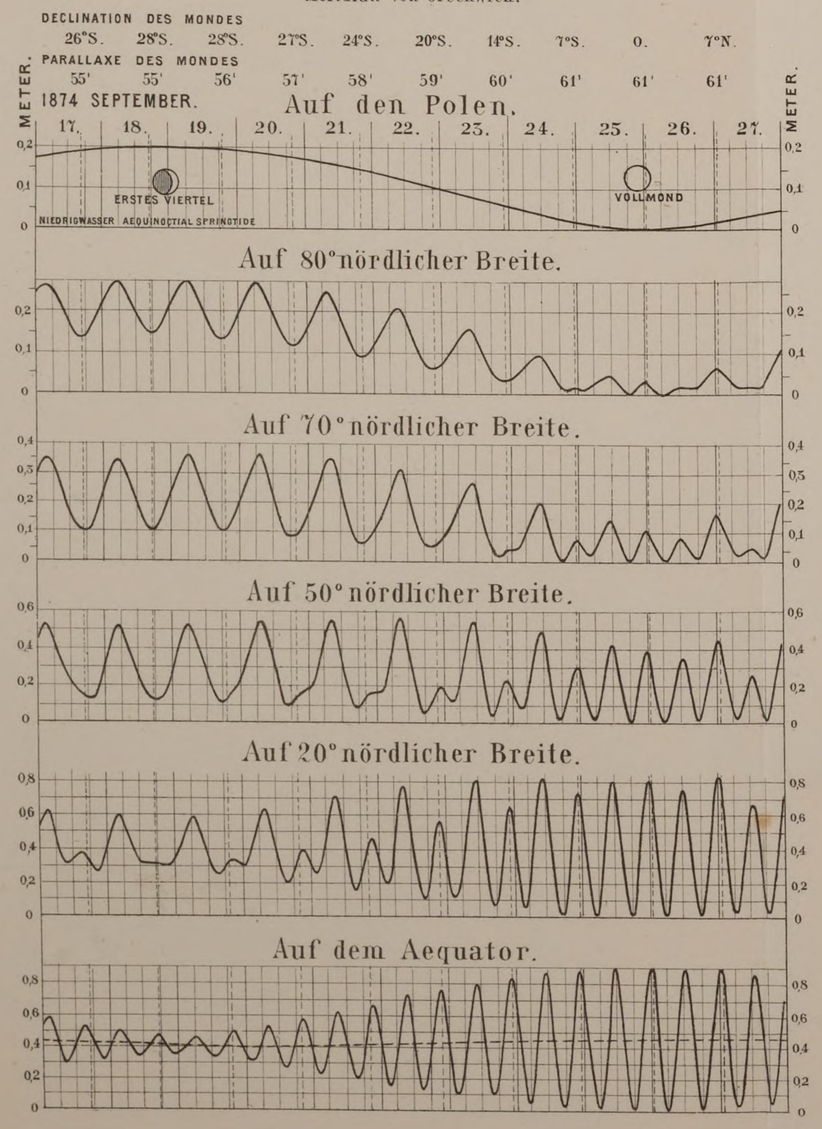
Der soeben vorausgesetzte Fall, dass die Declination von Sonne und Mond während eines halben synodischen Monates ungeändert bleiben, tritt nun zwar in der Natur nicht ein, und insofern kann die vorgeführte Reihenfolge theoretischer Hoch- und Niedrigwasser auch auf theoretische Richtigkeit keinen Anspruch machen, aber sie hat den Nutzen zu zeigen, wie ausserordentlich veränderlich die Wirkung der Declination der Gestirne je nach der Zeit der Mondesculmination ist. Die täglichen Ungleichheiten werden kleiner oder grösser, oder verschwinden ganz, und es würde unmöglich sein, diese Verschiedenheiten in anderer Weise ebenso klar und anschaulich hervortreten zu lassen.

Nachdem somit die Wirkungen der Veränderungen in der Stellung von Sonne und Mond gegen die Erde im Einzelnen untersucht sind, erübrigt nur noch die Gesammtheit der theoretischen Flutherscheinungen durch eine Reihe von Fluthcurven zu erläutern, welche in den Figuren 11 und 12 aufgezeichnet sind. Figur 11 zeigt eine elftägige Reihe von theoretischen Aequinoctialtiden, Figur 12 eine ebenso lange Reihe von Solstitialtiden. In diesen beiden Zeitpunkten des Jahres finden sich die stärksten Gegensätze in der Stellung von Sonne und Mond, wodurch auch der Character der Tiden ein möglichst verschiedener wird. In den Aequinoctien steht die Sonne im Aequator, in den Solstitien beträgt ihre Declination etwa 23½ Grad. In den Aequinoctien befindet sich der Mond in der Erdnähe und in der Aequatorebene, während er gleichzeitig mit der Sonne culminirt; dadurch werden die Springtiden auf dem Aequator die grössten des ganzen Jahres, und die folgenden oder vorangehenden Taubentiden müssen dort die kleinsten des ganzen Jahres werden, da der Mond bei dem ersten oder letzten Viertel sich bei stärkster Declination in der Erdferne befindet, seine Welle also möglichst klein ausfällt, die Sonnenwelle aber, um welche jene vermindert wird, auf dem Aequator noch nahezu ihren grössten Werth behalten hat. In den Solstitien ist von Allem das Gegentheil der Fall und deshalb müssen dann auf dem Aequator die Taubentiden ihre grösste, die Springtiden die kleinste Fluthgrösse während des ganzen Jahres aufweisen.

Figur 11.

THEORETISCHE AEQUINOCTIALTIDEN.

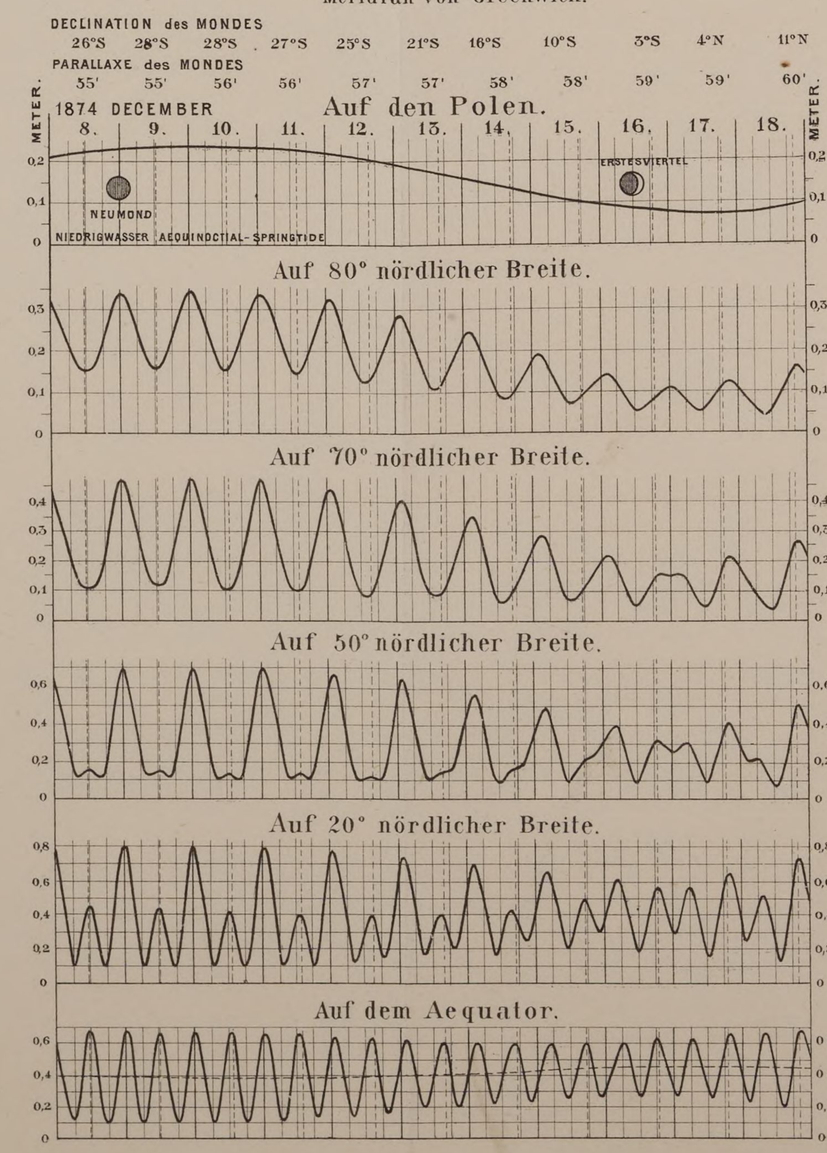
Meridian von Greenwich.



Figur 12.

THEORETISCHE SOLSTITIALTIDEN

Meridian von Greenwich.



Wilh. Fenck, Lith. Anstalt, Hamburg.

Für die Darstellung dieser Fluthcurven ist der Meridian von Greenwich gewählt, weil die Nautischen Jahrbücher ihre Zeitangaben auf diesen Meridian zu beziehen pflegen. Die Tiden sind für den Aequator, für zwanzig, funfzig, siebenzig, achtzig Grad nördlicher Breite und für die Pole aufgezeichnet, und zwar, der Deutlichkeit wegen, in verschiedener Grösse, wie aus den, an den Rändern der Zeichnung befindlichen Maassstäben zu ersehen ist. Sämmtliche Fluthcurven sind auf den niedrigsten Wasserstand des Jahres, auf das Niedrigwasser der Aequinoctial-Springtide reducirt. Die einzelnen Tage sind durch volle Striche von einander getrennt und die Zeitpunkte der oberen Mondesculmination sind durch gestrichelte Linien angedeutet. Für diese Zeitpunkte ist auch die Parallaxe und die Declination des Mondes angegeben, und selbstverständlich ist die Wirkung derselben bei der Construction der Fluthcurven sorgfältig berücksichtigt. Die Entfernung und Declination der Sonne ist nicht in gleich specieller Weise in Betracht gezogen. Die Entfernung derSonne ist in beiden Perioden als die mittlere angenommen, wodurch merkbare Fehler nicht veranlasst werden; die Declination der Sonne ist für die Aequinoctialtiden durchweg gleich Null angenommen, für die Solstitialtiden überall gleich dreiundzwanzig Grad, da während elf Tagen die Abweichungen von diesen Maassen in der That ausserordentlich gering sind.

Betrachtet man nun die Fluthcurven, so findet man zunächst auf dem Aequator die angedeuteten Unterschiede zwischen den Aequinoctial- und Solstitialtiden in auffallendster Weise hervortreten. Im Aequinoctium beträgt die Fluthgrösse der Springtiden am 25./26. September 0,92 m, die der Taubentiden am 18./19. September nur 0,14 m, so dass erstere fast die siebenfache Grösse der letzteren erreichen. Im Solstitium dagegen ist die Springfluthgrösse am 8./9. December nur 0,60 m, die Taubefluthgrösse erreichte am 15. December 0,36 m, beträgt also mehr als die Hälfte der Springfluthgrösse. Im Uebrigen zeigen die Tiden auf dem Aequator den bekannten regelmässigen Verlauf und nur Eins ist noch hervorzuheben: Da die Declination der Gestirne die Wirkung hat, eine ihrem Betrage entsprechende Wasserschicht vom Aequator zu entfernen, so muss dadurch der mittlere Wasserstand auf dem Aequator sinken. Durch die Sonne wird also der Wasserstand auf dem Aequator von den Aequinoctien bis zu den Solstitien gesenkt, in den Solstitien ist er am niedrigsten, und steigt von da an wieder

bis zum höchsten in den Aequinoctien. Der Mond bringt ähnliche aber stärkere Senkungen hervor, welche in ungefähr sieben Tagen ihren höchsten Werth erreichen und innerhalb eines gleichen Zeitraumes wieder verschwinden. Dem entsprechend finden wir den mittleren Wasserstand auf dem Aequator — der in den Figuren eingetragen ist — über dem Niedrigwasser der Aequinoctialspringtide

am	9./10.	December	ungefähr 0,39 m
»	16./17.	»	» 0,45 »
»	18./19.	September	» 0,41 »
»	25./26.	»	» 0,46 »

woraus jährliche Schwankungen desselben von etwa 0,07 m folgen, die bei einer mittleren Fluthgrösse von etwa 0,58 m — wie sie sich aus Figur 5 ergiebt — keineswegs unbedeutend genannt werden können.

Die characteristischen Merkmale der Aequatorialtiden verlieren sich sehr schnell, sowie man vom Aequator zu höheren Breiten übergeht. Schon auf zwanzig Grad Breite sind die Springtiden im Aequinoctium nicht mehr deutlich ausgeprägt, da sie von den höheren Hochwassern der an den Tagen vor und nach dem Aequinoctium eintretenden Tiden an Höhe übertroffen werden. Ebensowenig zeichnen sich auf derselben Breite die Aequinoctial-Taubentiden durch besondere Kleinheit aus, denn, wenn auch eine der beiden Tiden des Tages kaum noch zu erkennen ist, so erreicht dafür die andere eine Höhe, welche um soviel bedeutender ist. Dieses Verhältniss steigert sich mit der Nähe des Poles. Auf funfzig Grad Breite sind die Springtiden geradezu die niedrigsten, sie werden von den Taubentiden weit an Höhe übertroffen, dafür sind aber diese auch sämmtlich sogenannte Eintagstiden, d. h. diese Tiden füllen jede einen vollen Mondestag aus. Auf siebenzig Grad Breite erreichen die Springtiden nur noch die Höhe von 0,1 m, auf achtzig Grad bestehen sie nur noch in kaum erkennbaren Schwankungen des Wasserspiegels, und auf dem Pole selbst sind sie völlig verschwunden. Aber hier, auf dem Pole, sind auch die Taubentiden nicht mehr zu unterscheiden, denn die Eintagstiden haben sich mit den Springtiden in eine einzige Tide von vierzehntägiger Dauer verwandelt, und das Hochwasser dieser Tide fällt mit der stärksten Declination des Mondes zusammen, ihr Niedrigwasser mit dem Augenblicke seines Durchganges durch die Aequatorebene.

Vergleicht man die Solstitialtiden, Figur 12, mit den Aequinoctialtiden ausserhalb des Aequators, so sind die Unterschiede nicht sehr auffallend, nur sind schon auf siebenzig Grad Breite die Tiden gewöhnlicher Dauer vollständig durch Eintagstiden verdrängt, und die Eintagstiden mit grösserer Fluthgrösse sind jetzt nicht mehr die Taubentiden, sondern die Springtiden. Dieser letztere Unterschied ist aber eigentlich unwesentlich, denn man bemerkt leicht, dass in höheren Breiten nicht sowohl die Phasen des Mondes, wie auf dem Aequator, sondern nur seine, und in geringerem Maasse der Sonne Declination entscheidend sind. Da nun in den Solstitialtiden die stärkste Declination des Mondes mit Neumond, in den Aequinoctialtiden mit dem ersten Viertel zusammenfällt, so sind im Solstitium die Springtiden, im Aequinoctium die Taubentiden höherer Breiten von überwiegender Grösse. Auf dem Aequator werden die Tiden durch die Phasen des Mondes, auf den Polen durch seine Declination regiert und zwischen Beiden findet ein allmähliger Uebergang statt, indem je nach der Breite die Wirkung des einen oder des anderen Factors mehr in den Vordergrund tritt.

Eine ähnliche Umkehrung muss sich auf dem Wege vom Aequator zum Pol in der Lage des mittleren Wasserstandes vollziehen. Wenn der mittlere Wasserstand auf dem Aequator seinen höchsten Stand erreicht hat, in den Aequinoctien, — also im Augenblicke des Vollmondes am 25. September — dann ist er auf den Polen am niedrigsten, dann ist dort das Niedrigwasser der Aequinoctialspringtide. Wenn er auf dem Aequator am niedrigsten ist, in den Springtiden der Solstitien — also gleich nach Neumond am 9. December — dann ist er auf den Polen am höchsten, weil dann gleichzeitig Sonnen- und Mondwelle dort ihren höchsten Stand erreicht haben. Es sind aber, wie man aus Figur 12 sieht, die Schwankungen des mittleren Wasserstandes auf den Polen sehr viel grösser als auf dem Aequator, da der höchste Wasserstand eines Tages sich dort bis zu 0,24 ^{m} über den niedrigsten erheben kann. Die Ausgleichung muss auf den zwischenliegenden Breiten stattfinden, und es würde eine besondere, von mir nicht angestellte Untersuchung erforderlich sein, um das Verhältniss der mittleren Wasserstände für verschiedene Breitengrade festzustellen.

Diese Beispiele theoretischer Fluthcurven, wie sie sich auf unserem Erdsphäroid bilden würden, vorausgesetzt dasselbe bestände

aus einer vollkommen beweglichen Flüssigkeit, erschöpfen zwar nicht im Entferntesten die unendliche, durch den beständigen und bis in die fernsten Zeiten sich anders und anders gestaltenden Wechsel in der Stellung der Erde und des Mondes zur Sonne hervorgebrachte Mannigfaltigkeit der theoretischen Flutherscheinungen, aber diese Beispiele werden genügen für den Zweck, auf den es hier allein ankommt: für einen Vergleich der theoretischen mit den in der Natur beobachteten Tiden.

II.

Fluth und Ebbe in der Natur.

A. Tiden im Atlantischen Ocean.

§ 1. Die Fluthwelle.

Die Aehnlichkeit der Tiden (3.) des Atlantischen Oceans mit den theoretischen Aequatorialtiden darf als bekannt angenommen werden. Die Entstehung der letzteren setzt einen rings vom Wasser umgebenen Erdball voraus, der sich in der Natur nicht vorfindet; es ist deshalb trotz der Aehnlichkeit unmöglich, dass die ersteren auf dieselbe Weise entstehen. Wie aber die Tiden in der Natur entstehen, ist uns unbekannt, denn auf offenem Meere hat noch Niemand die Fluthwelle sehen oder durch Beobachtung nachweisen können. Die Fluthwelle berührt die Küsten des Meeres und dringt in die Flüsse; die dadurch bewirkten Hebungen und Senkungen des Wasserspiegels erzeugen die Tiden, welche bisher einzig und allein der Gegenstand gründlicher Untersuchungen gewesen sind, während unsere Kenntnisse über die Entstehung und Fortpflanzung der Fluthwelle sich auf mehr oder weniger grundlose Vermuthungen beschränken.

Die Fluthwellen, wenn auch durch ihre Ausdehnung und regelmässige Wiederkehr von allen anderen Wellen verschieden, sind ohne Zweifel denselben Gesetzen unterworfen wie diese, und eine vollständige Wellenlehre müsste ebensowohl die Fluthwellen, wie die durch den Wind oder andere Ursachen im Wasser erregten Wellen umfassen.

Unglücklicherweise sind die Eigenschaften der Wellen im Allgemeinen noch sehr in Dunkel gehüllt, weil ihre Beobachtung mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist. Künstlich in kleinen Rinnen oder Schifffahrtscanälen erregte Wellen boten keine Gelegenheit, die Wellenform und die Geschwindigkeiten der die Welle bildenden Wassertheilchen zu bestimmen; die vom Winde erregten Wellen sind zu unregelmässig und zu schnell vorübergehend, um genaue Messungen zu gestatten; die Fluthwellen selbst endlich, welche sich wegen ihres langsamen Verlaufes und wegen ihrer grossen Ausdehnung besser als irgend andere zur Feststellung aller Eigenschaften der Wellen eignen, sind bis jetzt in dieser Beziehung so gut wie garnicht untersucht worden.

Unter diesen Umständen sind wir darauf angewiesen, auf den wichtigsten Theil einer zukünftigen Tidenlehre, nämlich auf die Lehre von der Entstehung und Fortpflanzung der Fluthwellen, vorläufig vollständig zu verzichten, und die folgenden Bemerkungen bezwecken ausschliesslich, die innige Verwandtschaft der Fluthwellen mit den sonstigen, das Wasser durchfurchenden Wellen, durch die Anführung einiger Thatsachen anzudeuten.

Eine Welle wird hauptsächlich durch drei Eigenschaften charakterisirt: durch ihre Form, durch die Bewegungen der sie bildenden Wassertheilchen und durch die Geschwindigkeit ihres Fortschreitens.

Die Form der Wellen im Wasser ist nicht genau bekannt. Wenn eine einfache Fluthwelle sich irgendwo parallel mit der geraden Küste fortbewegte, so würden wir ihre Form durch gleichzeitige Beobachtungen der Höhe des Wasserstandes längs der Küste erhalten; da aber nirgends eine derartige Bewegung der Fluthwelle vorkommen wird, so können wir nur mittelbar auf ihre Form schliessen, indem wir die während einer Tide an einem und demselben Punkte einer Küste nacheinander eintretenden Wasser-

stände messen. Dadurch erhalten wir diejenige Form, in welcher die Welle an diesem Punkte der Küste vorüber zieht und finden, dass diese der Regel nach mit der theoretischen Form der Fluthwelle annähernd übereinstimmt. Für andere Wellen, also namentlich für die durch den Wind erregten, steht uns auch dieses Mittel nicht zu Gebote, weil die Wellen zu schnell wieder verschwinden. Der Augenschein lehrt, dass die durch den Wind erzeugten Wellen sehr verschiedene Formen besitzen, die aber meistentheils durch die unmittelbar auf die Wellen wirkende Kraft des Windes gewissermaassen entstellt sein werden. Wellen, welche in grösserer Entfernung durch den Wind hervorgerufen sind und sich bis zu einer gegen den Wind geschützten Wasserfläche fortpflanzen, zeigen ebenfalls annähernd die Form der theoretischen Fluthwelle. Dasselbe lässt sich von Wellen behaupten, die auf einer ruhigen Wasserfläche durch einen hineingeworfenen Stein, durch Schaukeln mit einem Kahn oder durch ähnliche Ursachen hervorgerufen sind, und man wird deshalb annehmen dürfen, dass die einfache Fluthwelle sich durch die Form von anderen regelmässigen Wellen nicht unterscheidet.

Die Bewegungen des Wassers, welche die Bildung und Fortpflanzung der Wellen begleiten, nennt man gewöhnlich Oscillationen oder Schwingungen, weil sie, pendelartig, abwechselnd nach der einen und nach der anderen Richtung erfolgen. An diesen Bewegungen betheiligen sich nicht nur die, die Welle selbst bildenden Wassertheilchen, sondern auch, je nach den Umständen bis zu einer grösseren oder geringeren Tiefe, alle unter der Welle liegenden Wassertheilchen, und deshalb sind die Bewegungen des Wassers in der Regel viel langsamer als die Geschwindigkeit der fortschreitenden Welle. In einem Theile der Welle bewegt sich das Wasser nach der einen Seite, in dem anderen Theile nach der entgegengesetzten, wobei ein Theil des Wassers bergan fliessen muss, denn sonst könnte weder das Thal der Welle niedriger liegen als die Ebene, welche der Wasserspiegel vor Erregung der Welle bildete, noch könnte der höchste Theil der Welle sich über diese Ebene erheben. In grösseren, vom Winde erregten Wellen kann man sich durch aufmerksame Betrachtung sehr leicht von dem Vorhandensein dieser Bewegungen und von ihrer gewöhnlich geringen Geschwindigkeit überzeugen; unter günstigen Umständen, z. B. bei schnellfahrenden Dampf-

schiffen in schmalen und seichten Gewässern, kann man nicht allein die Bewegungen des Wassers, sondern auch ihre stellenweise gegen das Gefälle gekehrte Richtung mit der grössten Deutlichkeit erkennen. Durch Messungen das Maass der Bewegungen festzustellen, ist bisher schwerlich gelungen und wiederum nur bei der Fluthwelle ausführbar.

Bei der Fluthwelle nennt man die Bewegungen des Wassers nicht Schwingungen, sondern Strömungen, wahrscheinlich aus dem rein äusserlichen Grunde, weil die Richtung der Bewegung jedesmal etwa sechs Stunden unverändert bleibt, wodurch für unsere Sinne der Eindruck des rythmischen Wechsels verloren geht. In der Sache selbst macht diese abweichende Benennung indess durchaus keinen Unterschied.

Die Stärke der Strömungen in der Fluthwelle ist nicht allein an jedem Orte eine andere, sondern sie ändert sich auch an demselben Orte in jedem Augenblicke der Tide und ist an verschiedenen Tagen für dieselben Augenblicke der Tide verschieden. Das Gesetz der Aenderungen der Strömung lässt sich deshalb selbst für einen bestimmten Ort nur aus einer grossen Anzahl von Messungen ableiten und beispielsweise führe ich die Resultate an, welche sich aus etwa sechshundert, an einer Reihe von Tagen auf der Elbe bei Cuxhaven angestellten, Geschwindigkeits-Messungen ergeben haben. Ich wähle diese Stelle, wie in der Folge noch häufig, nicht etwa, weil sie sich besser als irgend andere dazu eignet, sondern weil sie sich ebensogut wie viele andere dazu eignet, und weil mir von keiner zweiten so zahlreiche Messungen und Beobachtungen zu Gebote stehen.

Die Fluthwelle bei Cuxhaven schreitet mit einer Schnelligkeit von etwa dreizehn*) Meilen in der Stunde oder 6,7 ^{m} in der Secunde fort und für sie ergeben sich die nachstehenden mittleren Tideströmungen, denen die gleichzeitigen Höhen des Wasserstandes über dem Niedrigwasserspiegel einer idealen mittleren Tide beigefügt sind:

---

*) Der Scheitel der Welle mit 14,1 Meilen, der Fusspunkt mit 11,8 Meilen in der Stunde.

Zeit in der Tide	Wasserstand	Strömung	
		Geschwindigkeit in Meter pr. Sec.	Richtung
Niedrigwasser	Niedrigwasser 0,00 m	1,20 m	Ebbstrom
1 Stunde Fluth	0,46 „	0,40 „	„
1h 30′ „	0,94 „	0	Stromwechsel
2 Stunden „	1,41 „	0,43 „	Fluthstrom
3 „ „	2,18 „	1,00 „	„
4 „ „	2,57 „	1,15 „	„
5 „ „	2,77 „	0,89 „	„
5h 34′ „	Hochwasser 2,81 „	0,63 „	„
1 Stunde Ebbe	2,58 „	0,17 „	„
1h 25′ „	2,36 „	0	Stromwechsel
2 Stunden „	2,03 „	0,29 „	Ebbstrom
3 „ „	1,39 „	0,72 „	„
4 „ „	0,86 „	1,17 „	„
5 „ „	0,45 „	1,58 „	„
6 „ „	0,12 „	1,86 „	„
6h 51′ „	Niedrigwasser 0,00 „	1,20 „	„

Die dargestellte Tide beginnt mit Niedrigwasser, dem Augenblicke, in welchem das Wasser zu steigen anfangen will. Ein starker Strom geht abwärts, der See zu, und kommt erst anderthalb Stunden später zum Stillstande, nachdem das Wasser schon fast einen Meter gestiegen ist und die gegen die Strömung gerichtete Neigung des Wasserspiegels etwa 1 : 42 000 erreicht hat. Nun tritt der Stromwechsel ein, der Strom kentert und der Fluthstrom setzt ein, welcher, allmählig an Stärke zunehmend, seine grösste Schnelligkeit mit 1,15 m in der Secunde anderthalb Stunden vor Hochwasser erreicht. Dann wird er schwächer, hält aber auch nach Hochwasser noch an und erst nachdem das Wasser 0,45 m gefallen ist, tritt Stauwasser ein. Der Ebbstrom beginnt wieder, nimmt fortwährend an Stärke zu und läuft sechs Stunden nach Hochwasser am schnellsten, nämlich 1,86 m in der Secunde. Einundfünfzig Minuten später tritt Niedrigwasser ein und derselbe Kreislauf, wenn auch in den einzelnen Fällen mannigfach wechselnd, wiederholt sich auf's Neue.

Dies Beispiel zeigt, wie die Bildung und Fortpflanzung der Welle ermöglicht wird. Während anderthalb Stunden sowohl nach Hoch- wie nach Niedrigwasser läuft der Strom gegen das Gefälle,

beidemal nach der Seite, auf welcher die Welle noch im Wachsen begriffen ist, und liefert das für sie erforderliche Wasser. Nach Niedrigwasser steigt das Wasser auch bei Cuxhaven trotz des Ebbstromes, weil unterhalb Cuxhaven die Strömung an Stärke abnimmt, also nicht soviel Wasser abführt, wie bei Cuxhaven zugeführt wird; nach Hochwasser dagegen fällt das Wasser bei Cuxhaven trotz des Fluthstromes, weil dieser stromaufwärts an Stärke zunimmt, also mehr Wasser abführt als bei Cuxhaven zugeführt wird. Aehnlich wird in allen Stadien der Tide das Steigen und Fallen des Wassers durch den Unterschied in der Stärke der gleichzeitigen Strömungen an den verschiedenen Punkten des Stromes regulirt, oder richtiger, die Strömungen und das Steigen und Fallen des Wassers reguliren sich stets gegenseitig.

Aehnliche Strömungen müssen in jeder regelmässigen Welle vorhanden sein, aber wie wäre es möglich, sie in anderen als in den Fluthwellen nachzuweisen?

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die im Wasser erregten Wellen fortpflanzen, ist ausserordentlich verschieden und die Gesetze, welche die Geschwindigkeit regeln, sind bisher nur unvollständig erkannt. Sie wächst im Allgemeinen mit der Wassertiefe, weil die zur Erzeugung der Welle nothwendigen Strömungen um so langsamer sein können, je grösser die Wassermenge ist, welche daran theilnimmt. Auf seichtem Wasser sieht man Wellen mit erstaunlicher Langsamkeit hinkriechen, und die grösste bekannte Schnelligkeit ist an den durch Erdbeben hervorgerufenen Wellen nachgewiesen. Das Erdbeben im December 1854, welches die japanesische Stadt Simoda zerstörte, erzeugte Wellen von angeblich vierzig Fuss Höhe, die zwölf Stunden und sechsunddreissig Minuten später in San Franzisco beobachtet wurden. Da die Entfernung zwischen diesen beiden Orten viertausend und fünthundert Meilen beträgt, so durcheilten die Wellen den Ocean mit einer Schnelligkeit von dreihundertundsechzig Meilen in der Stunde. Die Wellenscheitel trafen in Zwischenräumen von ungefähr dreiundzwanzig Minuten ein, wonach die Wellenlänge von Scheitel zu Scheitel sich zu einhundertachtunddreissig Meilen berechnet; die Höhe der Wellen hatte sich auf dem weiten Wege bis San Franzisco auf achtzehn Zoll vermindert. — Aehnliche Beobachtungen über die Fluthwellen liegen nicht vor und können nicht vorliegen, weil man bis jetzt kein Mittel kennt, um die Identität derselben

nachzuweisen und weil man an offener See nie wissen kann, ob man es mit einer einfachen oder einer zusammengesetzten Fluthwelle zu thun hat. Nur in Flüssen und Meerbusen lässt sich die Geschwindigkeit der Fluthwelle messen, aber auf derartig beschränkten Gewässern wird sie, hauptsächlich wegen der geringeren Wassertiefe vergleichsweise stets sehr gering gefunden.

Sämmtliche Eigenschaften einer Welle verändern sich in der Regel während ihrer Fortpflanzung unauthörlich. Wenn ein Stein in's Wasser geworfen wird, so bringt er je nach seiner Grösse und Fallhöhe eine ringförmige Welle von einer gewissen Höhe hervor, die sich sogleich nach allen Seiten fortpflanzt. Durch die Fortpflanzung muss die Kraft, welche die erste Welle hervorbrachte, allmählig absorbirt werden; die Wellenhöhe wird in Folge dessen abnehmen und da auch die Wassertiefe an allen von der Welle berührten Stellen nicht ganz gleich sein wird, so müssen sowohl die Form der Welle, wie die sie begleitenden Strömungen und die Geschwindigkeit ihres Fortpflanzens von einer Secunde zur anderen andere werden. In den meisten Fällen gehen diese Aenderungen allmählich vor sich und sind nicht auffällig, aber in einem Falle sind sie plötzlich und überraschend, nämlich bei brandenden Wellen. Steht man bei ganz schwachem Winde an der Küste des Meeres und sieht die niedrigen, langgezogenen Wellen dem flachen Strande entgegenrollen, so bemerkt man, dass die Wellenscheitel in einiger Entfernung vom Ufer sich in gleichen Abständen von einander fortbewegen, wobei die reine, ungestörte Wellenform deutlich zu erkennen ist. Je mehr die Wellen sich dem Strande nähern, je näher rücken sich auch die einzelnen Wellenscheitel und gleichzeitig werden die vorderen, dem Ufer zugewandten Wellenabhänge allmählig steiler. Die hinteren Abhänge behalten indessen nahezu ihre reine Form und überholen die vorderen Abhänge. Sind diese endlich senkrecht geworden, so verlieren die Wellenscheitel ihre Unterstützung, die Wellen brechen schäumend zusammen und ihre letzten Ueberreste schieben sich mit leisem Plätschern auf den nassen Sand des Ufers. Dies ist die Brandung in ihrer unschuldigsten Form, deren Ursachen sich in diesem Falle bei dem langsamen Verlaufe der ganzen Erscheinung klar erkennen lassen. Die Welle bedarf, wie wir gesehen haben, zur Bildung ihres vorderen Theiles des vor ihr befindlichen Wasservorrathes, und wenn dieser wegen abnehmender Wassertiefe geringer wird, so erfolgt die Bil-

dung des vorderen Wellenabhanges langsamer und unvollkommener; dadurch wird er steiler und steiler, verschwindet endlich, und die Welle muss über ihm zusammenbrechen. Hätten dieselben Wellen ein senkrechtes statt eines flachen Ufers getroffen, so würden sie keine Spur von Brandung, sondern nur ein geringes abwechselndes Heben und Senken des Wasserspiegels veranlasst haben.

Bei den Fluthwellen sind die Aenderungen der Form eine so häufige Erscheinung, dass es wahrscheinlich nicht zwei Orte auf der Erde giebt, bei denen sie in gleicher Gestalt eintreffen, aber brandende Fluthwellen sind ausserordentlich selten, weil die Höhe der Fluthwellen im Vergleiche zu ihrer Länge so sehr unbedeutend ist. Auf der Elbe ist die Steigung des vorderen, des steileren Abhanges der Fluthwelle zu keiner Zeit und an keiner Stelle stärker als 1 : 15 000, und Steigungen von doppelter Stärke dürften selbst bei den beträchtlichsten, überhaupt vorkommenden Fluthgrössen unter gewöhnlichen Verhältnissen kaum überschritten werden. Brandende Fluthwellen sind deshalb an der Meeresküste wohl noch nirgends beobachtet und treten selbst in den Flüssen nur ausnahmsweise auf. Um einen Fall dieser Art anzuführen, beschreibe ich die, auch in anderer Beziehung sehr interessanten Fluthverhältnisse im Bristol-Canal und im Severn.

Der Bristol-Canal hat an seiner Mündung, bei Lundy-Island, eine Breite von siebenunddreissig Meilen und zieht sich bis zu dem einundachtzig Meilen entfernten Severn-Lodge allmählig auf zwei Meilen zusammen. Bei Severn-Lodge pflegt man die Mündung des Severn anzunehmen, denn hier wird bei Niedrigwasser die Breite des Meerbusens oder Flusses durch die English-Stones, eine querüber setzende Felsbank, bis auf eine Viertelmeile eingeengt, so dass eine Stromenge sich bildet, welche vom Wasser in den Springtiden während der letzten Ebbe und der ersten Fluth mit einer ungeheuren Geschwindigkeit durchströmt wird. Von den English-Stones aufwärts ist der steil ansteigende Fluss seicht, seine Breite nimmt immer mehr ab, und bei Newnham, dem letzten der in Betracht gezogenen Orte, beträgt sie bei Hochwasser nur zweitausend Fuss. Die folgende Tabelle enthält für verschiedene Stellen die Entfernungen und Breiten, die Springfluthgrössen, die Eintrittszeiten des Hochwassers der Springtide und die daraus abgeleiteten Geschwindigkeiten des Scheitels der Fluthwelle.

Ort	Breite	Springtide		Entfernung	Geschwindigkeit des Wellenscheitels
		Fluthgrösse	Hochwassereintritt		
Lundy-Island	37 Seem.	27 Fuss	5h 15′		
Nash-Point...	10 „	33 „	6h 25′	42 Seem.	36 Seem. pr. Stde.
Cardiff.....	8 „	37½ „	6h 56′	21 „	41 „ „ „
Kings-Road...	4 „	40 „	7h 13′	14 „	49 „ „ „
Sharpness....	0,7 „	29 „	7h 58′	16 „	21 „ „ „
Newnham.....	0,3 „	16 „	c. 8h 50′	8 „	c. 9 „ „ „

Die Springfluthgrösse bei Lundy-Island beträgt siebenundzwanzig Fuss und nimmt von hier bis Kingsroad, an der Mündung des Avon, unausgesetzt zu, indem der Scheitel der Fluthwelle sich hebt, ihr Fusspunkt sich senkt. Zugleich mit der Grösse wächst die Geschwindigkeit der Welle und steigert sich von sechsunddreissig bis auf neunundvierzig Meilen in der Stunde. In dem Wachsen der Fluthgrösse und in der zunehmenden Geschwindigkeit des Wellenscheitels sprechen sich die Entwickelung der Welle ausserordentlich begünstigende Umstände aus, die wahrscheinlich in der Trichterform des Meerbusens und in seinem allmählig ansteigenden Grunde zu suchen sind: die eindringende Fluthwelle setzt in den weiteren Theilen der Bucht grosse Wassermengen in Bewegung, und diese genügen in den engeren Theilen, nicht nur um die Welle höher zu machen, sondern auch um ihre Ausbildung in kürzerer Zeit zu vollenden.

Nachdem die mächtige, vierzig Fuss hohe Welle Kingsroad passirt ist, stösst sie bei Severn-Lodge auf die ersten Hindernisse, auf die English-Stones, und findet auch weiter aufwärts statt eines tiefen Meerarmes nur einen seichten Fluss mit starkem Gefälle. Die Wirkungen dieser Hindernisse zeigen sich sogleich, denn wenn auch der Wellenscheitel fortfährt sich zu heben, so kann sich doch der Fusspunkt nicht mehr senken, sondern liegt bei Sharpness schon etwa vierzehn Fuss höher als bei Kingsroad und bei Newnham wiederum vierzehn Fuss höher als bei Sharpness. Die Fluthgrösse hat bis Sharpness auf neunundzwanzig, bis Newnham auf sechszehn Fuss abgenommen und die Geschwindigkeit der Welle ist erst auf

einundzwanzig und bei Newnham bis auf neun Meilen in der Stunde reducirt. Diesen gewaltigen Aenderungen vermag sich die Fluthwelle nicht zu unterziehen, ohne gleichsam Beschädigungen davonzutragen. Auf dem steinigten Flussbette findet sie nicht das zur Bildung ihres Fusses erforderliche Wasser, der nachdrängende Theil der Welle überholt den verkümmerten Fuss und statt mit einer sanft geneigten Ebene beginnt die Welle mit einer schäumenden Wassermasse von zwei bis vier Fuss Höhe, welche auf der Strecke von Sharpness bis Newnham und weiter, tosend flussaufwärts eilt. Schon aus weiter Ferne hört man das Brausen des ankommenden Bore — so nennt man am Severn diese Erscheinung — es steigert sich von Secunde zu Secunde bis zu dem Geräusche eines mächtigen Wasserfalles; endlich sieht man eine weisse, quer über den ganzen Fluss reichende Masse sich nähern und nach wenigen Augenblicken ist der bis dahin regungslose Wasserspiegel in eine wildbewegte See verwandelt. Von nun an steigt das Wasser mit grosser Schnelligkeit, nach wenigen Minuten verhallt der Lärmen des aufwärtsrückenden Bore in grosser Ferne und die weitere Entwickelung der Fluth nimmt ihren regelmässigen Verlauf.

Gehen wir über von den einfachen zu den zusammengesetzten Wellen, so gerathen wir ohne Zweifel in ein noch tieferes Dunkel, aber sie müssen wenigstens erwähnt werden, denn es ist keine Frage, dass gerade die zusammengesetzten Wellen für die Flutherscheinungen von der grössten Wichtigkeit sind. Die Fähigkeit der Wellen sich gegenseitig ohne nachhaltige Störungen zu durchkreuzen, nennt man ihre Interferenz. Wirft man eine handvoll Steine in's Waser, so sieht man jeden Stein eine Aufeinanderfolge oder ein System concentrischer Wellen hervorbringen und jedes dieser Systeme pflanzt sich über die Wasserfläche fort, ohne durch die anderen behindert zu werden. An den Kreuzungspunkten je zweier Wellen sieht man die Gipfel höher sich heben und die Thäler sich vertiefen oder die Wellen ganz verschwinden, je nachdem zwei Gipfel und zwei Thäler sich treffen oder der Gipfel der einen Welle mit dem Thale der begegnenden zusammenfällt. Welcher Art die Bewegungen der Wassertheilchen bei diesen verschiedenartigen Begegnungen sind, davon hat gewiss noch Niemand eine klare Vorstellung, und nur das lässt sich behaupten, dass die Bewegungen je nach den Umständen auch sehr verschiedenartig ausfallen müssen. Bei den Fluthwellen können wir die Interferenz

nicht unmittelbar beobachten, weil wir nicht im Stande sind, auch nur eine einzelne Fluthwelle, geschweige denn mehre, oder gar ein ganzes System von Fluthwellen zu übersehen. Es kann jedoch keinem Zweifel unterliegen, dass auch die Fluthwellen sich vielfach durchkreuzen und die Untersuchungen der Eintrittszeiten des Hochwassers an den Küsten Europa's, sowie die Betrachtung mancher sonderbaren Flutherscheinungen wird dafür den Beweis liefern.

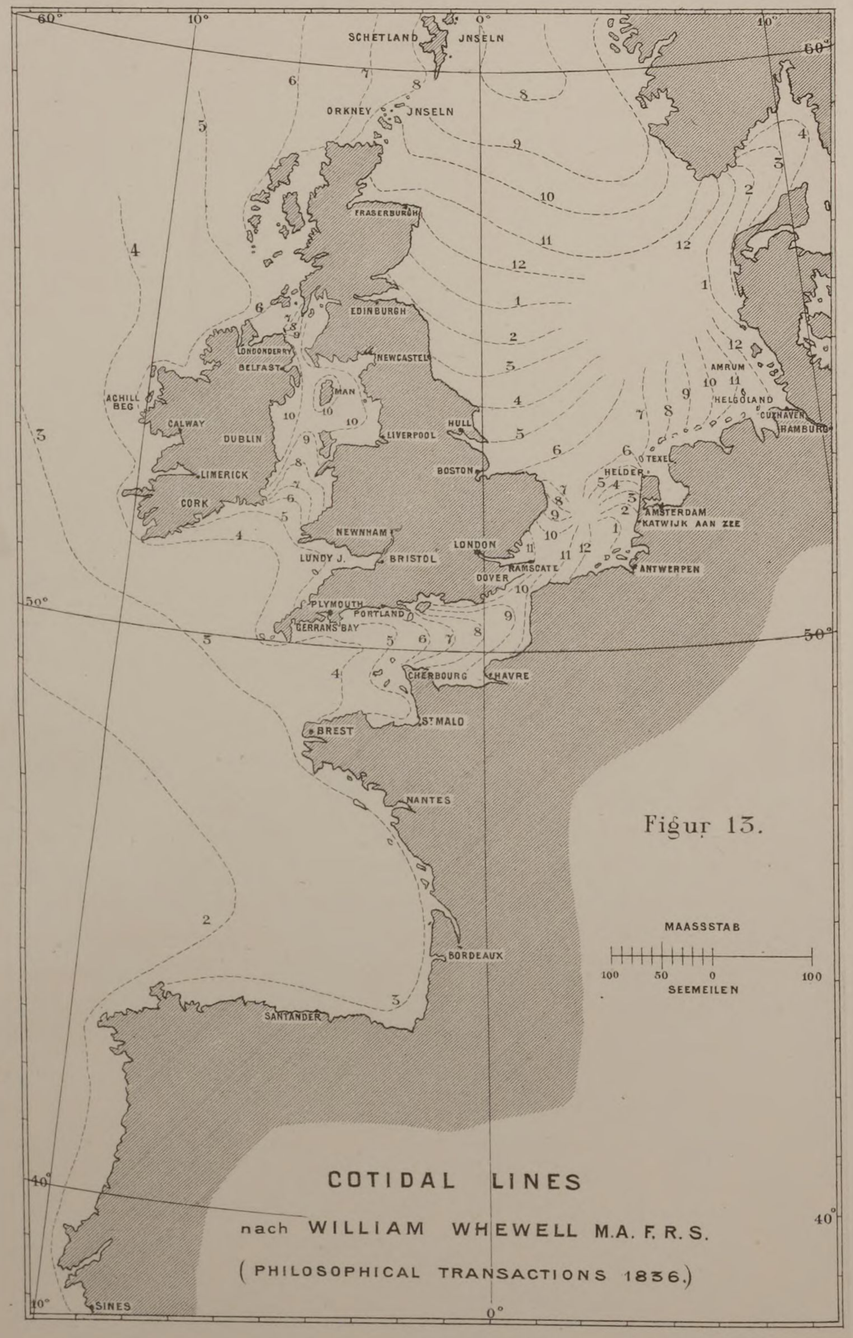
Es gab eine Zeit, in der man glaubte, den Lauf der Fluthwelle durch die Feststellung der Hochwasserzeiten an den Küsten verfolgen zu können und obgleich diese Ansicht längst als irrig erkannt ist, so müssen wir sie doch etwas näher in's Auge fassen, weil wir ihr Arbeiten verdanken, welche noch heute von grossem Werthe sind. Namentlich der englische Astronom Whewell vertrat diese Ansicht mit ausdauerndem Eifer und auf seine Veranlassung wurden im Juni des Jahres 1835 die Eintrittszeiten des Hoch- und Niedrigwassers an vielen Küstenpunkten des Atlantischen Oceans drei Wochen hindurch unausgesetzt beobachtet. Aus diesen Beobachtungen ermittelte Whewell für jeden Küstenpunkt die Länge des Zeitraumes, welche im Durchschnitte der Beobachtungsperiode zwischen der Mondesculmination und dem Eintritte des Hochwassers verfloss. Diesen Zeitraum nannte er »corrected establishment« (corrigirte Hafenzeit), und auf Greenwicher Zeit reducirt und in Mondstunden (von denen zwölf auf eine Tide gehen) ausgedrückt, die »cotidal hour« oder die »Stunde gleicher Hochwasserzeit« des Ortes. Durch Eintragung der sämmtlichen cotidal hours in eine Karte und durch angemessene Verbindung der gleichnamigen Stunden fand er die »cotidal lines«, die »Linien gleicher Hochwasserzeit«, welche nach seiner damaligen Ueberzeugung den Ort des Scheitels der Fluthwelle von Stunde zu Stunde darstellen sollten. Die Linien gleicher Hochwasserzeit für die Küsten Europas sind in Figur 13 wiedergegeben und wenn sie auch nach Whewell's späterer, gereifterer Ueberzeugung auf hoher See als Phantasiegebilde betrachtet werden müssen, so kann man doch im Allgemeinen aus ihnen die Eintrittszeiten des Hochwassers an den Küsten entnehmen; für die Tage, an denen Sonne und Mond gleichzeitig culminiren, bezeichnen also die den Linien beigeschriebenen Zahlen bis auf wenige Minuten genau die Tagesstunde, um welche das Hochwasser an den betreffenden Küstenpunkten eintrifft. Demnach ist an diesen Tagen Hochwasser an der portugisischen Küste bald nach zwei

Uhr, an der spanischen und süd-französischen Küste bald nach drei Uhr. Bei Brest, an der Südwestspitze England's und Irland's ist etwa um vier Uhr Hochwasser, an der Nordspitze Irland's zwischen sechs und sieben Uhr. Von der Nord- wie von der Südspitze Irland's verspäten sich die Hochwasserzeiten nach der irischen See hin, so dass rings um die Insel Man und längs des grössten Theiles der Ostküste Irland's bald nach zehn Uhr Hochwasser ist. Aehnlich an der Süd- und Ostküste Grossbritanniens. Von den Scilly-Inseln verspäten sich die Hochwasserzeiten nach Osten und Norden, von der Nordspitze Schottland's nach Süden, so dass auf dem ersteren Wege Hochwasser vor der Themse um elf Uhr eintritt, auf dem letzteren Wege ebenfalls um elf Uhr, aber, wenn man mit den Stunden auf der Karte fortzählt, um einen halben Mondestag später. Die Hochwasserzeiten an der Küste des Continentes stehen dazu in einem auffallenden Gegensatze, denn während man, von der Themse an der englischen Küste nach Norden fortschreitend, stets früher Hochwasser findet, setzt sich die Verspätung der Eintrittszeit des Hochwassers an der gegenüberliegenden Küste fort, und zwar längs der belgischen, holländischen und deutschen Küste bis hinauf nach Skagen. Am überraschendsten ist dieser Unterschied zwischen der Themse und Texel, weil dort die Breite des Meeres gering ist und man deshalb dort am Wenigsten eine so ungleichartige Entwickelung der Fluthwellen an den beiden Küsten erwarten würde. Eine Erklärung für diese merkwürdigen Thatsachen fehlt uns bis jetzt vollständig, denn indem man sagt, die Fluthwelle dringt sowohl in die irische See wie in die Nordsee gleichzeitig von Süden und Norden ein, erklärt man Nichts. Durch diese Erklärung erfahren wir weder, weshalb das gleichzeitige Eindringen zweier Fluthwellen in der irischen See ganz andere Resultate liefert als in der Nordsee, noch erfahren wir, was dann aus den beiden sich begegnenden Wellen wird. Nach allen sonstigen Erfahrungen setzen zwei sich begegnende Wellen nach erfolgter Durchkreuzung ihren Weg ungestört weiter fort, und es ist an und für sich kein Grund vorhanden, weshalb die Fluthwellen sich im ähnlichen Falle abweichend verhalten sollten. Viele Erscheinungen deuten auch darauf hin, dass wir in diesen Gewässern keineswegs eine einfache Fluthwelle vor uns haben und ich werde einige derselben, namentlich in Bezug auf Unregelmässigkeiten der Strömungen, anführen.

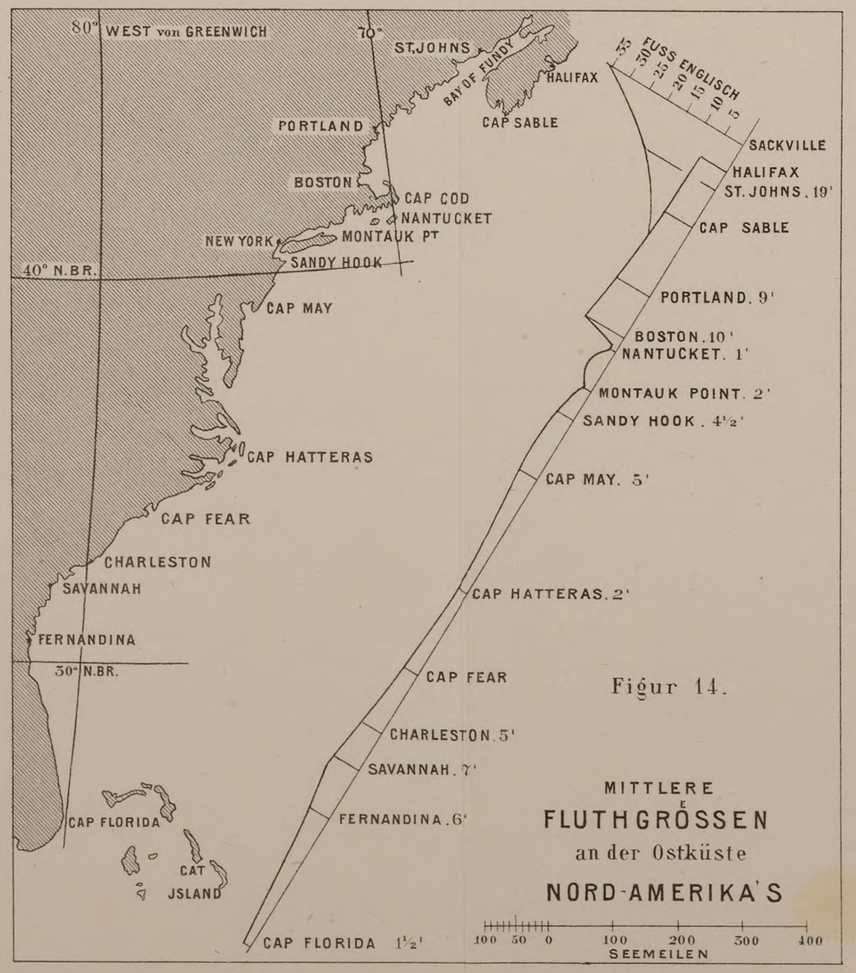
Bei Courtown am St. Georgs-Canal ist an der irischen Küste eine Stelle, an der kaum eine Spur der Fluthwelle zu bemerken ist, denn dort behält das Wasser stets fast genau dieselbe Höhe. Nichtsdestoweniger ist hier eine reissende Tideströmung, welche in den Springtiden eine Geschwindigkeit von zwei Metern in der Secunde erreicht. Südlich und nördlich von Courtown wächst die Fluthgrösse sehr schnell und an der gegenüberliegenden, vierundfunfzig Meilen entfernten englischen Küste beträgt sie in den Springfluthen sechszehn Fuss.

Entgegengesetzt ist in der irischen See, zwischen Irland und der Isle of Man, eine andere Stelle, an der das Wasser in den Springfluthen sechszehn bis zwanzig Fuss steigt und fällt, und doch ist hier während der ganzen Tide durchaus garkeine Strömung zu bemerken.

Am wunderbarsten durch ihre von der Regel abweichende Gesetzmässigkeit sind die Strömungen im englischen Canale auf der Strecke, welche einerseits begrenzt wird durch eine Linie von Start Point nach den Casquets — ungefähr mit der Linie Plymouth-Cherbourg zusammenfallend — andererseits durch eine Linie vom Texel nach den vor Cromer liegenden Leman- und Hasbro-Feuerschiffen. Diese etwa dreihundert Meilen lange Strecke kann man nach der Richtung der Strömung in zwei fast gleiche Hälften zerlegen. Ihre Trennungslinie ist nicht feststehend, sondern sie verschiebt sich während jeder Tide auf der fünfundfunfzig Meilen langen Strecke von Dover-Calais bis Beachy Head-Dieppe, wobei sie stets die Grenzlinie zwischen zwei einander entgegengesetzten Stromrichtungen bildet. Solange es Fluth ist in Dover, solange strömt das Wasser von beiden Seiten gegen die Trennungslinie, solange es Ebbe ist in Dover, solange strömt das Wasser nach beiden Seiten von der Trennungslinie; und so gross ist die Genauigkeit, mit der dieser Zeitpunkt eingehalten wird, dass auf der ganzen langen Strecke von Dreihundert Meilen der Stromwechsel innerhalb derselben halben Stunde stattfindet. Dabei sind aber die Eintrittszeiten des Hochwassers auf dieser Strecke um volle sechs Stunden verschieden, denn an ihren Endpunkten ist gerade Niedrigwasser, wenn in der Gegend von Dover Hochwasser ist. Folglich dieselbe Strömung, welche an einer Stelle Hochwasser macht, macht an anderen Stellen Niedrigwasser und der Augenblick des Stromwechsels trifft überall verschiedene Zeitpunkte der Tide. In einer



Figur 13.



Figur 14.

MITTLERE
FLUTHGRÖSSEN
an der Ostküste
NORD-AMERIKA'S

Wilh. Fenck, Lith. Anstalt, Hamburg.

einfachen, regelmässig fortschreitenden Welle würden unmöglich solche Unterschiede stattfinden können und wir müssen diese und die übrigen Eigenthümlichkeiten der Flutherscheinungen in der irischen und der Nordsee als Beispiele einer grossartigen Wirkung der Interferenz der Wellen auffassen, deren weitere Erklärung wir hoffentlich von zukünftigen Forschungen erwarten dürfen.

Endlich ist noch eine Frage zu erörtern, die sich auf den mittleren Wasserstand der Wellen bezieht. Wenn auf einer unbewegten, also völlig ebenen Wasserfläche regelmässige Wellen, d. h. solche Wellen, welche in keinem ihrer Theile eine Spur von Brandung zeigen, erregt werden, so wird die Höhe des Wasserstandes dadurch an keiner Stelle dauernd verändert, sondern jede Welle entnimmt das zu ihrer Bildung erforderliche Wasser aus dem ihr zunächst gelegenen Wasservorrath und nach ihrem Vorübergange ist dieser Vorrath genau derselbe wie vorher. Dass das nicht anders sein kann, wird zweifellos, wenn man sich einen durch steile Ufer begrenzten Teich vorstellt, in dem mehrere Wellensysteme erregt werden; der ganze Teich wird dann in wenigen Augenblicken mit hin und wieder eilenden Wellen bedeckt sein und es wäre widersinnig anzunehmen, dass die Wellen auf einem Theile des Teiches sich von dem Wasser eines anderen Theiles desselben bilden sollten, oder dass durch diese Wellen Wasser von einem Theile des Teiches nach einem anderen Theile desselben hingeschafft werden sollte. Wenn die Ursache der Wellenerregung aufhört, so werden die Wellen schwächer und schwächer, und wenn sie ganz erstorben sind, liegt der Teich wieder ebenso unbeweglich da, wie vor Erregung der Wellen. Gerade so verhält es sich aller Wahrscheinlichkeit nach mit den Fluthwellen. Der mittlere Wasserstand eines von der Fluthwelle berührten Küstenpunktes wird genau ebenso sein, wie er ohne die Fluthwelle sein würde, obgleich zugegeben werden muss, dass der Beweis für die Wahrheit dieser Behauptung noch zu liefern ist. Wir kommen deshalb auf diese Frage wieder zurück, aber berührt ist sie schon hier, um auch in dieser Beziehung die Aehnlichkeit der Fluthwellen mit den anderen, im Wasser auftretenden Wellen anzudeuten.

§ 2. Die Fluthgrösse.

Den Höhenunterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser an irgend einer Stelle des Meeres nennt man die Fluthgrösse dieser

Stelle. Die Fluthgrösse auf offener See ist uns völlig unbekannt, da wir sie nur an den Küsten und in geringen Meerestiefen ermitteln können. Man vermuthet, dass sie auf freiem Meere sehr gering ist, weil sie an kleinen, vom Festlande entfernten Inseln gewöhnlich nur wenige Fuss beträgt. Jedoch giebt es auch hiervon Ausnahmen, denn die Springfluthgrösse bei Tongatabu, einer der Fidschi-Inseln, ist sechs Fuss und bei der kleinen Norfolk-Insel, welche siebenhundertundfunfzig Meilen von der australischen Küste entfernt ist, sieben Fuss. In der Nähe der Küste wächst die Fluthgrösse gewöhnlich, namentlich dort, wo die Fluthwelle in weitgeöffnete, allmählig sich verengende Meeresbuchten einläuft. Die ungemein bedeutende Zunahme der Fluthgrösse im Bristol-Canal ist bereits angeführt, und selbst die Fluthgrösse an seiner Mündung, bei Lundy-Island, muss schon als das Resultat einer ähnlichen Steigerung aufgefasst werden; sie erklärt sich auf dieselbe Weise, indem man Frankreich und die britischen Inseln zusammen als die Begrenzung eines weiten Meerbusens betrachtet. In einem andern Theile desselben, in der Bucht von St. Malo nämlich, finden wir eine Wiederholung des Falles vom Bristol-Canale, denn bei der Insel Guernsey, am Eingange dieser Bucht, ist die mittlere Springfluthgrösse sechsundzwanzig Fuss, bei St. Malo dagegen fünfunddreissig Fuss und bei Granville und Cancale sogar siebenunddreissig Fuss. Der merkwürdigste und gewissermassen regelrechteste Fall dieser Art findet sich aber an der Ostküste Nordamerika's, welche in Figur 14 dargestellt ist.

Die Ostküste der Vereinigten Staaten bildet drei grosse flache Buchten, welche von Süden nach Norden durch Cap Florida, Cap Hatteras, Cap Cod und Cap Sable begrenzt werden. In die nördlichste Bucht mündet wieder die Fundy-Bay, welche eine Länge von einhundertundfunfzig Meilen hat. Längs der ganzen Küste von Cap Florida bis Montauk Point, also auf einer Länge von mehr als tausend Meilen, tritt Hochwasser fast gleichzeitig ein, nämlich ungefähr acht Stunden nach der Culmination des Mondes. Um dieselbe Zeit ist Hochwasser bei Cap Sable, aber bei Nantucket und in der ganzen Bucht zwischen Cap Cod und Cap Sable verspätet sich der Eintritt des Hochwassers um drei bis vier Stunden und, wie wir sogleich sehen werden, mit dieser Abweichung hängen andere in den sonst so regelmässigen Veränderungen der Fluthgrösse zusammen. Die Fluthgrössen für die einzelnen Küstenpunkte

sind in der Zeichnung angegeben und man findet sie an den, die Buchten begrenzenden Vorgebirgen meistens sehr klein, nämlich bei Cap Florida anderthalb Fuss, bei Cap Hatteras zwei Fuss, bei der Insel Nantucket einen Fuss, bei Cap Sable und Cap Cod aber, correspondirend mit der Unregelmässigkeit in den Hochwasserzeiten, sieben Fuss. Die Fluthgrösse steigert sich, wenn man von den Vorgebirgen in das Innere der Buchten vorschreitet: bei Savannah bis auf sieben Fuss, bei Cap May bis auf fünf Fuss, bei Boston und Portland bis auf zehn und neun Fuss, und selbst in der kleinen Bucht zwischen Montauk Point und der Insel Nantucket ist eine merkliche Zunahme der Fluthgrösse sichtbar. Wie überraschend nun auch die drei- oder viermalige Wiederholung desselben Falles das Gesetzliche der Erscheinung darthun mag, so dienen doch alle diese Fälle nur als Folie für den grossartigen Hergang in der Fundy-Bay. Am Eingange derselben, nicht weit von Cap Sable, ist die mittlere Fluthgrösse nur acht Fuss, bei St. Johns schon neunzehn Fuss, und bei Sackville, im äussersten Winkel der Bucht gelegen, erreicht sie sechsunddreissig Fuss, in Springtiden selbst funfzig Fuss und darüber.

Schwerlich wird sich ein so merkwürdiges Beispiel des Einflusses der Küstengestaltung auf die Fluthgrösse zum zweiten Male auf der Erde wiederholen, es sei denn vielleicht in der Hudsons-Bay. Für diese finden sich in den englischen Tidetafeln für das Jahr 1869 zwei Angaben über Springfluthgrössen, York Factory zehn bis vierzehn Fuss, Ungava siebenundsechszig Fuss. Letztere Angabe ist keinem Druckfehler zuzuschreiben, denn es wird hinzugefügt, ein einkommender Dampfercapitain habe sein Schiff auf sechs Faden Tiefe verankert, nach einigen Stunden aber zu seinem grössten Erstaunen trockenen Fusses rund um dasselbe herumgehen können. Wie aber diese riesige Fluthgrösse zu Stande kommt, darüber fehlt mir der weitere Aufschluss, denn die genannten beiden Orte liegen so weit auseinander, dass ein unmittelbarer Zusammenhang zwichen den sie berührenden Fluthwellen nicht anzunehmen ist.

§ 3. Die Fluthcurve.

Die Fluthcurve eines Ortes für eine bestimmte Tide erhält man, wenn man die Wasserstände während dieser Tide in genügend kurzen Zeitintervallen beobachtet und als Ordinaten zu den Beobachtungszeiten als Abscissen aufzeichnet.

Die Fluthcurven der Tiden des Atlantischen Oceans sind, soweit sich nach Beobachtungen an den Küsten urtheilen lässt, im Allgemeinen den Fluthcurven der theoretischen Aequatorialtiden sehr ähnlich, im Einzelnen zeigen sie jedoch zahlreiche Abweichungen, denn sie verändern sich nicht nur von Ort zu Ort je nach den Meerestiefen und in Folge anderer Einflüsse, die wir selten im Einzelnen nachweisen können, sondern auch für denselben Ort sind sie täglich anders, je nach der Stellung von Sonne und Mond, nach den vorangegangenen Tiden und je nach der unstäten Wirkung des Windes. Als Beispiele sollen zunächst einige normale Fluthcurven, dann einige von der Regel abweichende betrachtet werden.

Figur 15 zeigt mehre, bei Windstille beobachtete Helgolander und Cuxhavener Fluthcurven, erstere in gestrichelten, letztere in vollen Linien. Zwei sind am 19. August 1866, einen Tag nach dem letzten Mondesviertel, und zwei am 26. August, am Tage des Vollmondes, beobachtet. An beiden Tagen beginnt die Beobachtung der Wasserstände Morgens um fünf Uhr, und ist von Viertel- zu Viertelstunde, kurz vor und nach Hochwasser von fünf zu fünf Minuten, bis Abends acht Uhr fortgesetzt. Am 26. August fiel Morgens das Wasser in Cuxhaven bis 1,82 ^{m} am Fluthmesser und Niedrigwasser oder Eintritt der Fluth war um 7^{h} 35′, denn fünf Minuten später stand das Wasser schon auf 1,825 ^{m}. Dann stieg das Wasser bis 4,95 ^{m} am Fluthmesser und Hochwasser oder Eintritt der Ebbe war um 1^{h} 0′, denn fünf Minuten nach ein Uhr war das Wasser schon auf 4,945 ^{m} gefallen. Das folgende Niedrigwasser wurde um 8^{h} 5′ zu 1,70 ^{m} am Fluthmesser beobachtet. Demnach war die Fluthdauer 5^{h} 25′, die Ebbedauer 7^{h} 5′ und die Dauer der ganzen Tide 12^{h} 30′. Die Fluthgrösse des Fluthschenkels war 3,13 ^{m}, diejenige des Ebbeschenkels 3,25 ^{m} und die Fluthgrösse der Tide 3,19 ^{m}. Am 19. August culminirte der Mond etwa fünf Stunden früher als am 26. August und das Niedrigwasser traf ungefähr auf dieselbe Stunde wie an letzterem Tage das Hochwasser; die Fluthgrösse am 19. August betrug nur 2,42 ^{m}, denn an diesem Tage war fast Taubetide, am 26. August fast Springtide. Ein ganz ähnliches Verhalten zeigen die Helgolander Fluthcurven, um sie aber mit den Cuxhavener Fluthcurven vergleichen zu können, ist es nothwendig, ihre Höhenlage zu

bestimmen, was selbstverständlich nur näherungsweise möglich ist, weil Helgoland in offener See und fünfunddreissig Meilen von Cuxhaven entfernt liegt.

Theilt man eine Tide in gleiche Zeitabschnitte von solcher Länge, dass man für jeden einzelnen derselben die Fluthcurve als gerade Linie betrachten kann, so erhält man den mittleren Wasserstand der Tide, wenn man das arithmetische Mittel aus den mittleren Wasserständen der einzelnen Zeitabschnitte bestimmt. Aus der Tide vom 26. August findet man den mittleren Wasserstand in Cuxhaven siebenundvierzig Hundertstel der Fluthgrösse unter Hochwasser auf $3{,}445^{m}$ am Fluthmesser. Er schneidet die Fluthcurve um $9^{h}\ 28'$ und um $3^{h}\ 57'$, so dass das Wasser während dieser Tide $6^{h}\ 29'$ über, und $6^{h}\ 1'$ unter dem mittleren Wasserstande blieb. Die Tide vom 19. August ergiebt den mittleren Wasserstand genau in derselben Höhe (bis auf einen Unterschied von $0{,}003^{m}$, der den Ungenauigkeiten der Beobachtung und Rechnung zuzuschreiben ist) und ebenfalls siebenundvierzig Hundertstel der Fluthgrösse unter Hochwasser, wobei nochmals hervorgehoben werden muss, dass beide Tage fast windstill waren. Aus mehrmonatlichen Perioden in verschiedenen Jahreszeiten findet man dasselbe Resultat, nämlich dass der mittlere Wasserstand stets siebenundvierzig Hundertstel der Fluthgrösse unter Hochwasser, und abgesehen von den durch Wind bewirkten Schwankungen, die im nächsten Abschnitte erörtert werden sollen, stets in derselben Höhe am Fluthmesser liegt. Der mittlere Wasserstand ist demnach constant und er würde sich einstellen, wenn die durch die Fluthwelle hervorgebrachten Schwankungen des Wasserspiegels aufhörten. Bei Helgoland liegt der mittlere Wasserstand nach den beiden Fluthcurven derselben Tage achtundvierzig Hundertstel der Fluthgrösse unter Hochwasser und da auf den ersten zwölf Meilen unterhalb Cuxhaven der mittlere Wasserstand horizontal gefunden worden ist, so darf man auch annehmen, dass die mittleren Wasserstände von Helgoland und Cuxhaven bei Windstille in derselben waagrechten Ebene liegen. Aus dieser Annahme folgt die in Figur 15 gezeichnete Lage der Helgolander und Cuxhavener Fluthcurven gegen einander und nachdem diese festgestellt ist, können wir zu einem Vergleiche der beiden Curven schreiten.

Helgoland ist ringsum von funfzehn bis funfzig Meter tiefem Wasser umgeben und seine Fluthcurve ist von ausserordentlich

regelmässiger Form; von der theoretischen unterscheidet sie sich fast nur durch die steilere Ansteigung des Fluthschenkels, wodurch die Fluth um reichlich eine Stunde kürzer ausfällt als die Ebbe. Die Cuxhavener Fluthcurve zeigt ausser der, gewöhnlich mit der Annäherung an die Küste verbundenen, beträchtlicheren Fluthgrösse, mehre Abweichungen in ihrer Form, welche namentlich in der Tide vom 26. August sehr hervortreten. Um sich das Verständniss dieser Abweichungen zu erleichtern, kann man sich die Fluthcurve als Wellenprofil vorstellen, was sie ja auch eigentlich ist, nämlich das Profil der Fluthwelle, wie sie an dem Beobachtungsorte vorüberzog. Der Fluthschenkel der Fluthcurve ist dann der vordere Abhang der Welle und diese muss man sich also von rechts nach links fortschreitend denken. Die Fusspunkte der Welle würden dann ungefähr einhundertundsechzig Meilen von einander entfernt sein, denn bei Cuxhaven beträgt die Geschwindigkeit der Fluthwelle durchschnittlich dreizehn Meilen in der Stunde, und die Höhe der Welle würde nicht mehr sein als ein Hunderttausendstel ihrer Länge. — Betrachtet man also die Cuxhavener Fluthcurve in diesem Sinne, so fällt zunächst die Steilheit der unteren Parthie des Fluthschenkels in die Augen. Sie erklärt sich durch die Hindernisse, welche das seichtere Strombett der Fortpflanzung der Fluthwelle entgegenstellt, obgleich die sanfte Rundung der Curve in der Nähe des Niedrigwassers im Uebrigen auf eine durchaus freie Entwickelung der Welle schliessen lässt. In der dritten Stunde der Fluth beginnt die Curve merklich flacher zu werden, sie knickt förmlich zusammen und in den beiden letzten Stunden vor Hochwasser steigt das Wasser nur wenig. Hierin ist wahrscheinlich der Einfluss der Watten zu erkennen, niedriger Landflächen, welche, auf Höhe halber Tide liegend, sich meilenweit zu beiden Seiten des Stromes unterhalb Cuxhaven ausbreiten. Sie entziehen der andringenden Fluthwelle grosse Wassermengen und es ist keinem Zweifel unterworfen, dass die Fluthwelle bei Cuxhaven höher auflaufen würde, wenn an Stelle der Watten höheres Land sich befände. Characteristisch ist es in dieser Beziehung, dass das Hochwasser bei Cuxhaven nur zwanzig Centimeter höher steigt als bei Helgoland, während das Niedrigwasser doch neunundzwanzig Centimeter tiefer fällt, und wahrscheinlich verzögert sich aus derselben Ursache auch der Eintritt des Hochwassers in Cuxhaven. Der Ebbeschenkel der Cuxhavener Fluthcurve verhält sich in seinen Neigungen dem Fluthschenkel

gerade entgegengesetzt: anfänglich, so lange die Watten das sie bedeckende Wasser noch unmittelbar der See zuführen können, fällt das Wasser schnell, wenn aber der Strom das ihm von den niedrigeren Wattflächen und den oberen Theilen des Flusses zuströmende Wasser allein abführen muss, so erfolgt das Fallen des Wassers langsamer. Bei der Taubentide am 19. August ist die Form im Ganzen weniger markirt, weil die maassgebenden Verhältnisse in der That andere sind; beim Eintritt der Fluth ist der Strom mehr mit Wasser gefüllt und die niedrigere Welle findet leichter das zu ihrer Bildung nöthige Quantum; zugleich nehmen die Watten weniger in Anspruch, wodurch der Verlauf der Fluthcurve sich im Ganzen gleichmässiger gestaltet.

Man erkennt aus dieser Darstellung, dass die Unterschiede zwischen der Helgolander und der Cuxhavener Fluthcurve das Resultat sehr verwickelter Vorgänge sind, die sich im Einzelnen kaum verfolgen lassen, wobei indess hervorgehoben werden muss, dass die Letztere durch den Strom als solchen noch nicht beeinflusst ist; sie würde vielmehr aller Wahrscheinlichkeit nach kaum anders sein, wenn auch die Elbe vierzig Meilen oberhalb Cuxhaven plötzlich zugedämmt und nur der untere Theil des Stromes als Meerbusen nachbleiben würde.

Fluthcurven, welche, wie die Helgolander, der theoretischen ähnlich sind, bilden die Regel und könnten deshalb in grosser Anzahl angeführt werden. Figur 16 zeigt die Fluthcurve von Liverpool für neun Tage im Frühling 1869. Die Fluthgrösse schwankt zwischen dreizehn und dreissig Fuss, ist also sehr viel grösser als bei Helgoland; der mittlere Wasserstand liegt niedriger, nämlich einundfunfzig Hundertstel der Fluthgrösse unter Hochwasser, und der Unterschied zwischen der Spring- und Taubenfluthgrösse ist sehr bedeutend; die Fluthdauer ist aber fast dieselbe wie bei Helgoland, durchschnittlich 5^h 45′ und dort 5^h 40′.

Eine ungewöhnliche Fluthcurve findet sich bei Ipswich. Beide Schenkel bilden fast gerade Linien, die im Niedrigwasser beinahe plötzlich, im Hochwasser allmähliger in einander übergehen.

Auffälliger ist die Fluthcurve von Southampton, denn sie scheint gleichsam aus der Vereinigung dreier Fluthcurven von gewöhnlicher Form zusammengesetzt zu sein. Die Fluthdauer beträgt dort sechs und eine halbe Stunde, aber nach dreistündigem Steigen behält das Wasser während einer ganzen Stunde fast unverändert

dieselbe Höhe, um dann abermals drittehalb Stunden bis zum Hochwasser zu steigen. Darauf tritt Ebbe ein, jedoch nach kurzer Zeit steigt das Wasser abermals, und zwei Stunden nach dem ersten Hochwasser ist das zweite, dessen Höhe geringer ist als die des ersten. Bei der nun folgenden Ebbe fällt das Wasser anfänglich langsam, in den letzten drittehalb Stunden aber sehr schnell und die Fluthgrösse beträgt im Ganzen etwa zehn Fuss. Diesen Thatsachen entsprechend findet man in den englischen Tidetafeln für Southampton auch zwei, um 2 1/4 Stunden auseinanderliegende Hochwasser angegeben und dasselbe geschieht für mehre in seiner Nähe belegene Küstenpunkte. In Poole, dem westlichsten derselben, beträgt der Unterschied in der Eintrittszeit der beiden Hochwasser sogar drei Stunden und fünfunddreissig Minuten.

Die ungewöhnlichste und wunderbarste aller Fluthcurven wird am Marsdiep beim Helder beobachtet, welcher auf der Spitze Nordhollands, Texel gegenüber, liegt. Die Beobachtungsstation befindet sich unmittelbar an der offenen See, nur getrennt von ihr durch einen Deich, unter dem das Zuleitungsrohr für den registrirenden Fluthmesser (4) durchgeführt ist. In Figur 17 sind die Fluthcurven vom Helder für zwei Tage im August 1852 nach dem registrirenden Fluthmesser verkleinert aufgezeichnet. Die Fluthdauer beträgt am Helder nur ungefähr zwei Stunden, die Ebbedauer etwa sechs Stunden, und während der übrigen vier bis fünf Stunden, welche abwechselnd mehr zur Ebbe oder mehr zur Fluth zu gehören scheinen, steht das Wasser ziemlich unverändert in der Höhe des Hochwassers. Aber nicht ganz unverändert, denn in der einen Tide erhebt sich ein kleiner gesonderter Gipfel im Beginne dieser vier- bis fünfstündigen Periode, in der nächsten Tide am Ende derselben. Ausser dem wechseln stets eine hohe und eine niedrige Tide mit einander ab, wobei die Dauer der höheren Tide etwa dreizehn, die der niedrigeren etwa zwölf Stunden beträgt. Es finden sich demnach in diesen Tiden die aus der Theorie bekannten vier täglichen Ungleichheiten in doppelter Weise vertreten. Einmal durch die verschiedene Höhe und Dauer der Tiden im Ganzen, das andere Mal durch die kleinen Doppelgipfel, welche auf den anderen, aber völlig selbstständig, ebenfalls einen stetigen Wechsel in den Höhen und Eintrittszeiten zeigen. Die mittlere Fluthgrösse beim Helder ist nur 1,16^{m} und der mittlere Wasserstand liegt in Folge der eigen-

thümlichen Gestaltung der Fluthcurve ungewöhnlich hoch, nämlich, wenn man zwei aufeinander folgende Tiden zusammenfasst, nur zweiundvierzig Hundertstel der Fluthgrösse unter Hochwasser.

Abweichende Fluthcurven anderer Art finden sich längs der ganzen nordamerikanischen Küste des mexicanischen Meerbusens. Die Fluthgrösse seiner Tiden beträgt durchschnittlich nur anderthalb Fuss und übersteigt selten drittehalb Fuss. Die tägliche Ungleichheit in der Höhe des Niedrigwassers ist sehr bedeutend, die in der Höhe des Hochwassers dagegen nur schwach. Die beiden Tiden eines Tages verschmelzen deshalb gemeiniglich zu Eintagstiden, welche nur durch eine mehr oder weniger ausgeprägte Senkung zwischen den beiden Hochwassern das Vorhandensein des höheren Niedrigwassers erkennen lassen.

§ 4. Die halbmonatliche Ungleichheit.

Im vorigen Abschnitte bestimmten wir die theoretische halbmonatliche Ungleichheit der Tiden, d. i. die Art ihrer Abhängigkeit vom Mondesalter, indem wir die von Sonne und Mond erzeugten Wellen, je nach dem Unterschiede in der Culminationszeit von Sonne und Mond, zusammensetzten und daraus die Höhen und Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser ableiteten. Auf umgekehrtem Wege können wir die halbmonatliche Ungleichheit der in der Natur auftretenden Tiden ermitteln. Durch Beobachtung werden ihre Höhen und Eintrittszeiten festgestellt, und wenn wir diese nach dem Unterschiede der Culminationszeit von Sonne und Mond ordnen, (oder wenn die Culminationen nach wahrer Zeit gegeben sind, können wir einfacher sagen: nach der Culminationszeit des Mondes ordnen) so erhalten wir ihre halbmonatliche Ungleichheit. Dabei ist es aber nothwendig, die während eines längeren Zeitraumes fortgesetzten Beobachtungen zu benutzen, denn nur dadurch kann man den Einfluss der Mondesculminationszeit getrennt von dem der Entfernung und Declination von Sonne und Mond und unabhängig von der mehr oder minder bedeutenden Wirkung des Windes ausfindig machen. Gewöhnlich hält man deshalb die Beobachtungen eines neunzehnjährigen Zeitraumes zur Bestimmung der mittleren halbmonatlichen Ungleichheit erforderlich, denn in diesem Zeitraum vollzieht sich der Wechsel in den Perioden der Mondesdeclination ungefähr einmal, der in den Perioden seiner Entfernung ungefähr zweimal.

In Figur 18 ist die halbmonatliche Ungleichheit der Höhe für Cuxhaven (5) aufgetragen. Das Hochwasser in Cuxhaven tritt ein entweder kurz vor oder bald nach der Culmination des Mondes und die punktirten Linien geben die Höhen dieses Hochwassers und des vorangegangenen Niedrigwassers an, wenn die Culmination des Mondes um die beigeschriebenen Stunden stattfand. Eine allgemeine Aehnlichkeit dieser punktirten Curven mit der theoretischen halbmonatlichen Ungleichheit der Höhe ist nicht zu verkennen, allein es fällt sogleich auf, dass die Springtiden nicht mit den Syzygien, die Taubentiden nicht mit den Quadraturen zusammentreffen, sondern dass Beide sich verspäten, indem die Springtiden — mit dem höchsten Hoch- und dem niedrigsten Niedrigwasser — erst dann eintreten, wenn der Mond um zweieinhalb Uhr culminirt, die Taubentiden — mit dem niedrigsten Hoch- und dem höchsten Niedrigwasser — erst dann, wenn der Mond um acht Uhr culminirt. Diese »Verspätung« der Spring- und Taubentiden, welche überall im Atlantischen Ocean beobachtet wird, im Maasse aber zwischen ungefähr anderthalb und drittehalb Tagen schwankt, wurde schon von Newton bemerkt, der sie durch die »Beibehaltung der eingeflössten Bewegung« zu erklären versuchte. Laplace stellte eine andere Hypothese auf. Er nahm an, die Fluthwelle entstehe auf den unermesslichen Wasserflächen der anderen Hemisphäre, pflanze sich von dort in den Atlantischen Ocean fort und gebrauche anderthalb bis drittehalb Tage um den weiten Weg bis an unsere Küsten zurückzulegen. Lubbock baute auf dieser Hypothese weiter und sagte: wenn die Fluthwelle erst mehrere Tage nach ihrer Entstehung an unsere Küsten gelangt, so ist für sie nicht der Stand der Gestirne am Tage ihrer Ankunft, sondern derjenige am Tage ihrer Entstehung maassgebend, und wir müssen deshalb die Höhen und Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser mit der Culminationszeit des Mondes an letzterem Tage vergleichen. Wenn die Laplace'sche Hypothese richtig ist, so muss diese Folgerung ebenfalls richtig sein und nach Lubbock's Vorgange pflegt man deshalb die Tiden des Atlantischen Oceans, je nach der Belegenheit und entsprechend den Whewell'schen Cotidal-lines, auf den dritten, vierten oder fünften Monddurchgang vor Hochwasser zu beziehen; die Cuxhavener Tiden demgemäss auf den fünften Monddurchgang vor Hochwasser, d. i. auf denjenigen, welcher durchschnittlich funfzig Stunden vor dem Hochwasser in Cuxhaven stattfindet.

Die vollausgezogenen Linien in Figur 18 zeigen die halbmonatliche Ungleichheit der Höhe auf den fünften Monddurchgang vor Hochwasser bezogen, und man sieht, dass die Spring- und Taubentiden jetzt genau eintreten, wenn der Mond zwei Mondestage früher um zwölf, bez. um sechs Uhr culminirte. Eine Ausnahme macht das Niedrigwasser der Taubentide, denn dieses trifft nicht auf 6^h, sondern auf 6^h 15′ der Mondesculmination, was aber durch eine besondere Ursache veranlasst wird: bei der Zusammenstellung der Hoch- und Niedrigwasser zum Zwecke der Bestimmung der halbmonatlichen Ungleichheit sind die Niedrigwasser stets zu derjenigen Stunde der Mondesculmination gerechnet, zu der das ihnen folgende Hochwasser gehörte und dadurch sind sie in der Zeichnung sämmtlich um etwa elf Minuten nach rechts verschoben. Diese Verschiebung war bequem für den nächsten Zweck der Zusammenstellung, für die Berechnung künftiger Tiden nämlich, aber es wäre richtiger gewesen, sie zu vermeiden, denn sie verschiebt auch den mittleren Wasserstand. Dieser liegt, wie bereits angeführt ist, siebenundvierzig Hundertstel der Fluthgrösse unter Hochwasser, also, wie ihn eine feine Linie in der Figur angiebt, auf 3,47 ^{m} am Fluthmesser. Bestimmt man ihn jedoch für die einzelnen Culminationsstunden des Mondes aus den für dieselben in der Figur angegebenen Höhen von Hoch- und Niedrigwasser, so findet man ihn, wie aus der gestrichelten Linie zu ersehen, bald höher, bald niedriger als 3,47 ^{m}. Würde man die erwähnte Verschiebung der Niedrigwasserhöhen beseitigen, so träfe auch der mittlere Wasserstand, bis auf verschwindend kleine Unterschiede, überall genau auf dieselbe Höhe.

Die halbmonatliche Ungleichheit der Höhe für Helgoland, welche ebenfalls in Figur 18 angegeben ist, ist aus einer geringeren Zahl von Beobachtungen mit Hülfe der für Cuxhaven gefundenen abgeleitet.

Die halbmonatliche Ungleicheit der Zeit, welche für Cuxhaven in Figur 19 dargestellt ist, wird auf dieselbe Weise gefunden wie diejenige der Höhe, nur werden nicht die Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser, sondern ihre Hafenzeiten zusammengestellt. Unter »Hafenzeit« schlechtweg versteht man die Eintrittszeit des Hochwassers an den Tagen von Neu- und Vollmond, oder da an diesen Tagen der Mond durchschnittlich mit der Sonne gleich-

zeitig culminirt, den Zeitunterschied zwischen der Mondesculmination und dem Eintritte des Hochwassers für diese Tage. Hafenzeiten des Hoch- oder Niedrigwassers im Allgemeinen sind demnach die Zeiträume, welche zwischen der Mondesculmination und dem Eintritte des Hoch- oder Niedrigwassers verfliessen, und wenn man diese aus neunzehnjährigen Beobachtungen für die einzelnen Stunden der Mondesculmination ermittelt, so ergiebt sich aus ihnen die mittlere halbmonatliche Ungleichheit der Zeit für Hoch- und Niedrigwasser, welche wiederum auf den ersten oder auf einen früheren Monddurchgang vor Hochwasser bezogen werden kann. Figur 19 giebt sie in den aus Strichen und Punkten bestehenden Linien für den letzten Monddurchgang vor Hochwasser und man ersieht aus ihnen, dass die »Hafenzeit« Cuxhavens $0^h\ 49'$ ist, denn wenn der Mond um zwölf Uhr culminirt, tritt Hochwasser neunundvierzig Minuten später ein; in gleicher Weise würde die »Hafenzeit« des Niedrigwassers — $4^h\ 39'$ sein, denn wenn der Mond um zwölf Uhr culminirt, ist $4^h\ 39'$ früher, also um $7^h\ 21'$, Niedrigwasser eingetreten. Culminirt der Mond später, so werden die Hafenzeiten kürzer, so dass, wenn der Mond um sechs Uhr culminirt, Hochwasser schon dreissig Minuten früher, also um $5^h\ 30'$ eintritt; dann wachsen die Hafenzeiten wieder allmählig und zwar bis $0^h\ 56'$, wenn der Mond um zehneinhalb und um elf Uhr culminirt, und durchschnittlich tritt das Hochwasser in Cuxhaven vierzehn Minuten nach, das Niedrigwasser $5^h\ 20'$ vor der Mondesculmination ein. Der Verlauf der Curven der halbmonatlichen Ungleichheit ist im Allgemeinen ähnlich wie nach der Theorie, aber die Linien der durchschnittlichen oder mittleren Hafenzeit, welche in der Figur ersichtlich sind, zeigen ähnliche Abweichungen, wie wir sie bei der halbmonatlichen Ungleichheit der Höhe constatirten. Die Linie der mittleren Hafenzeit des Hochwassers soll nach der Theorie dann mit seiner Curve der halbmonatlichen Ungleichheit zusammenfallen, wenn der Mond um zwölf und um sechs Uhr culminirt, aber wir sehen aus der Figur, dass dies erst geschieht, wenn der Mond um $2^h\ 26'$ und um $8^h\ 20'$ culminirt. Diese Verschiebung von fast drittehalb Stunden, welche im Niedrigwasser aus dem schon erwähnten Grunde noch etwas grösser ist, bedeutet nun ebenfalls eine Verspätung der Spring- und Taubentiden und man sollte erwarten, sie würde sich auf dieselbe Weise beseitigen lassen, wie die in den Höhen beob-

achtete Verspätung. Bezieht man aber demgemäss die Hafenzeiten auf den fünften Monddurchgang vor Hochwasser, wodurch man die in Figur 19 voll ausgezogenen Linien erhält, so trifft die mittlere Hafenzeit, welche nun $1^h\ 55'$ geworden ist, noch nicht ganz in den verlangten Punkten mit der Curve der halbmonatlichen Ungleichheit zusammen, sondern man müsste, um dies zu bewirken, auf den sechsten oder siebenten Monddurchgang vor Hochwasser zurückgehen. Die Laplace'sche Hypothese führt deshalb nicht zu befriedigenden Resultaten, und diese erscheinen noch ungenügender, wenn man, wie Lubbock und Whewell für verschiedene engliche Häfen gethan haben, denjenigen Monddurchgang ermittelt, welcher die durch die wechselnde Declination und Entfernung des Mondes in den Tiden hervorgebrachten Verschiedenheiten am Besten mit der Theorie in Einklang bringt. Es stellt sich dann heraus, dass jede Eigenschaft der Tiden einen anderen Monddurchgang bedingt, wodurch die Wahl desselben mehr oder weniger der Willkür anheimfällt.

Dieselben Abweichungen der beobachteten von den theoretischen halbmonatlichen Ungleichheiten, welche wir in Cuxhaven gefunden haben, lassen sich in ähnlicher Weise, wenn auch dem Maasse nach verschieden, von allen anderen Küstenpunkten des Atlantischen Oceans nachweisen. Für mehre Orte werde ich die Resultate in Bezug auf eine bestimmte Frage, in Bezug auf das Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth nämlich, zusammenstellen.

Nach der Theorie muss die Mondfluthgrösse das arithmetische Mittel zwischen der Springfluthgrösse und der Taubenfluthgrösse sein, die Sonnenfluthgrösse gleich dem Unterschiede zwischen diesem Mittel nnd der Springfluthgrösse. Die folgende Tabelle enthält diese Grössen und das daraus abgeleitete Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth; die mit »Küstenpunkte« und einer Zahl bezeichneten Reihen enthalten von Whewell aus grossbritanischen und französischen Häfen berechnete Mittelzahlen.

Beobachtungsorte	Unterschied zwischen nebenstehender und Springfluthgrösse	Mittel zwischen Spring- u. Tauberfluthgrösse	Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth
Nordamerika, Mittel aus 6 Häfen.....	1,1 Fuss	6,7 Fuss	1 : 6,1
Helgoland.....	0,415 m	2,236 m	1 : 5,4
Cuxhaven.....	0,378 m	2,728 m	1 : 7,2
37 Küstenpunkte....	2 Fuss 5 Zoll	9 Fuss 3 Zoll	1 : 3,8
40 Küstenpunkte....	3 „ 8 „	12 „ 0 „	1 : 3,3
Plymouth.....	3 „ 4 „	12 „ 6 „	1 : 3,7
Ramsgate.....	2 „ 11 „	12 „ 7 „	1 : 4,3
Brest.....	5 „ 3 „	13 „ 10 „	1 : 2,6
39 Küstenpunkte....	5 „ 9 „	17 „ 10 „	1 : 3,1
Liverpool.....	5 „ 4 „	20 „ 3 „	1 : 3,8
4 Küstenpunkte.....	9 „ 8 „	27 „ 0 „	1 : 2,8
Theoretisches Verhältniss.....			1 : 2,2

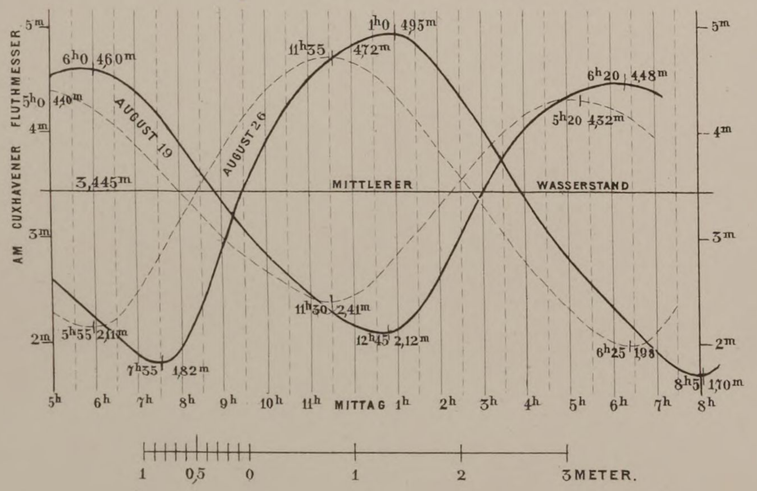
Die Orte sind nach der Fluthgrösse geordnet und man sieht, dass im Allgemeinen, wie schon Whewell hervorhebt, das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth sich dem theoretischen mit der wachsenden Fluthgrösse nähert. Im Einzelnen kommen jedoch überall Abweichungen vor und namentlich ist die beträchtliche Aenderung des Verhältnisses auf der kurzen Strecke von Helgoland bis Cuxhaven, sowie die ungewöhnliche Grösse der Sonnenfluth in Brest auffallend.

Aus der halbmonatlichen Ungleichheit der Zeit lässt sich, der Theorie nach, das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth gleichfalls bestimmen, denn da die Abweichungen der Hafenzeiten von der mittleren Hafenzeit durch die Sonnenwelle veranlasst werden, so ergiebt sich das Maass der letzteren aus dem Maasse der Abweichungen. Diese sind nachstehend für mehre Orte aufgeführt.

FLUTHCURVEN von HELGOLAND und CUXHAVEN, 1866.

Figur 15

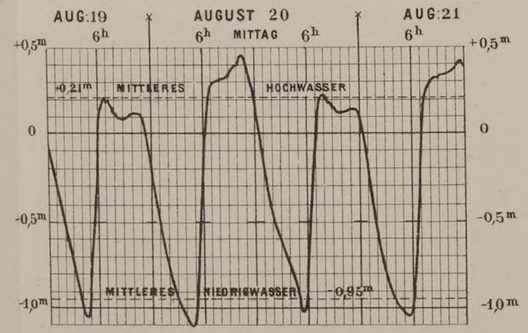
Mondesculmination am 19ten August 6h51m PM. Aug 26: Vollmond.



FLUTHCURVEN vom HELDER.

Figur 17

1852

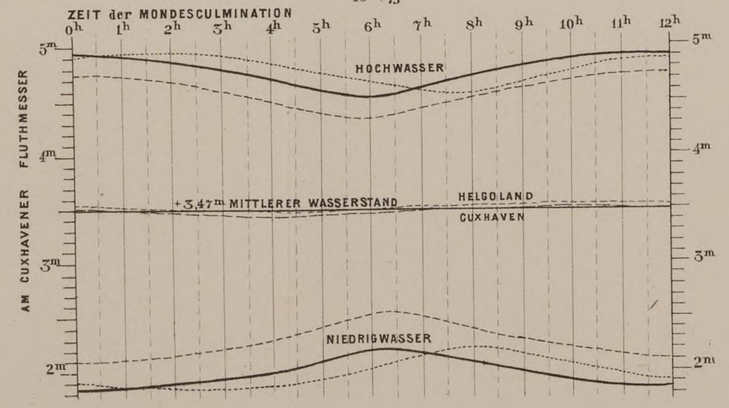


HALBMONATLICHE UNGLEICHHEIT der HÖHE.

Figur 18.

CUXHAVEN und HELGOLAND

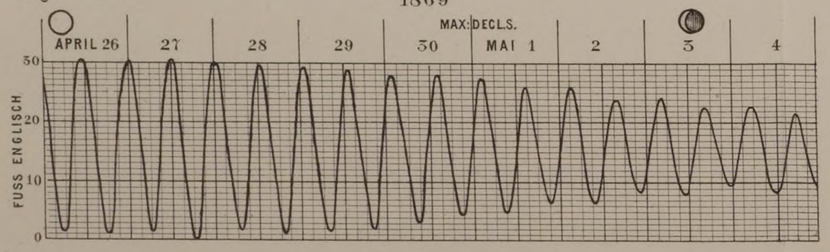
18 43/75



FLUTHCURVEN von LIVERPOOL 53°24' N.BR. 3° W.v. GREENWICH.

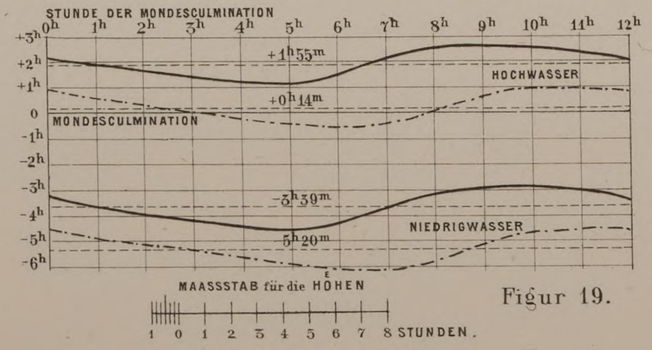
Figur 16.

1869



HALBMONATLICHE UNGLEICHHEIT der ZEIT in CUXHAVEN.

Bezogen auf den ersten und den fünften Monddurchgang vor Hochwasser



Figur 19.

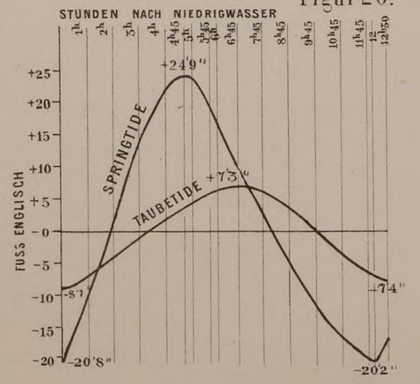
FLUTHCURVEN von KINGS ROAD

Mündung des Avon.

AEQUINOCTIALTIDEN.

APRIL 1875.

Figur 20.



Wilh. Fenck, Lith. Anstalt, Hamburg.

Unterschiede zwischen der grössten und kleinsten Hafenzeit des Hochwassers in:

Newyork	43	Minuten
Nordamerika, durchschnittlich . .	ca. 45	»
St. Helena	ca. 55	»
Brest	80	»
Ramsgate	82	»
Leith	84	»
Liverpool, Howth und Cuxhaven .	86	»
London und Sheerness	90	»
Plymouth	95	»
Nach der Theorie	106	»

Hiernach stellt sich die Sonnenfluth zwar auch überall kleiner heraus, als sie der Theorie nach sein sollte, allein keineswegs übereinstimmend mit den aus den Unterschieden zwischen der Spring- und Taubenfluthgrösse gewonnenen Resultaten. Aus den Fluthgrössen ergiebt sich z. B. die Sonnenfluth in Cuxhaven halb so gross wie in Liverpool, aus den Hafenzeiten folgt aber für Beide dieselbe Grösse. Aus den Fluthgrössen findet man die Sonnenfluth in Cuxhaven überhaupt am kleinsten, während sie nach den Hafenzeiten zu den Grössten zählen müsste. Umgekehrt ist es mit Brest, denn dies hat die grösste Sonnenfluth nach dem ersten Verzeichnisse, steht im zweiten aber nur in der Mitte. Diese Widersprüche beweisen, dass die Sache in der Natur verwickelter sein muss als in der Theorie, wie sich dies im Verlaufe der Untersuchungen auch noch klarer herausstellen wird.

Die einfache und durchsichtige Gesetzmässigkeit der theoretischen Tiden finden wir in der Natur überhaupt nirgends. Nach der Theorie dauert die Fluth durchschnittlich gerade so lange wie die Ebbe und das Mondesalter bringt hierin nur geringe Veränderungen hervor; bei den natürlichen Tiden ist dies durchaus nicht der Fall, sondern diese zeigen grosse Verschiedenheiten in der Fluth- und Ebbedauer. In Nordamerika sind Fluth- und Ebbedauer im Allgemeinen einander gleich, in Europa ist die Fluthdauer gewöhnlich kürzer, obgleich keineswegs ausnahmslos. Mit dem Mondesalter ändert sich die Fluthdauer und auffallenderweise trifft die kürzeste Fluthdauer, der Theorie entsprechend, mit der Springtide,

die längste mit der Taubentide zusammen, wobei das Maass des Unterschiedes aber starkem Wechsel unterworfen ist, wie die folgende Tabelle beweist.

Ort	Fluthdauer der		Unterschied
	Springtide	Taubentide	
Kingsroad.....	4h 45′	6h 45′	2h 0′
Hâvre	5h 4′	6h 0′	0h 56′
Cuxhaven	5h 25′	5h 49′	0h 24′
Brest.....	6h 0′	6h 14′	0h 14′
Nach der Theorie...	6h 9′	6h 29′	0h 20′

In Brest, wo wir aus der halbmonatlichen Ungleichheit der Höhe die Sonnenfluth sehr gross fanden, ist dennoch der Unterschied in der Spring- und Taubenfluthdauer sehr gering. Besonders auffällig ist der enorme Unterschied in der Fluthdauer bei Kingsroad im Bristol-Canal, und da dort gleichzeitig die Fluthgrösse der Springtide fast das Dreifache der Taubenfluthgrösse ist, so zeigen auch die entsprechenden Fluthcurven, wie aus Figur 20 ersichtlich, nur geringe Aehnlichkeit mit einander. Die grossen Unterschiede in der Fluthdauer und Fluthgrösse bei Kingsroad bewirken, dass das Wasser in der dritten Fluthstunde der Aequinoctialspringtiden zwölf Fuss und vier Zoll steigt, in den Aequinoctial-Taubentiden aber in keiner Stunde der Fluth mehr als drei Fuss und einen Zoll.

§ 5. Einfluss der Mondentfernung.

Wenn die halbmonatlichen Ungleichheiten des Hoch- und Niedrigwassers aus neunzehnjährigen Beobachtungen bestimmt werden, so gelten sie nur für die mittlere Entfernung und Declination von Sonne und Mond, und die Wirkungen der Abweichungen dieser Gestirne von ihrer mittleren Stellung müssen gesondert bestimmt werden.

Zu dem Ende pflegt man die während neunzehn Jahren beobachteten Höhen und Hafenzeiten abermals zusammenzustellen, aber

nicht nach der Culminationszeit, sondern nach der Parallaxe des Mondes getrennt, woraus sich dann, nach Berechnung der Mittelzahlen, die Werthe für die verschiedenen Mondentfernungen und die Abweichungen dieser Werthe von den für die mittlere Mondentfernung gefundenen ergeben.

Für Cuxhaven sind die in den neun Jahren 1853 bis 1861 beobachteten Höhen und Hafenzeiten von täglich je einem Hoch- und Niedrigwasser in der Weise behandelt und sind dadurch die folgenden Abweichungen gefunden.

Cuxhaven. Abweichungen von den mittleren Hafenzeiten in Minuten.

Stunde der Mondesculmination		Mondparallaxe							
		54′	55′	56′	57′	58′	59′	60′	61′
12 h	Hochwasser	+ 1	— 1	0	— 2	+ 1	+ 1	— 1	+ 1
(10½ h bis 1½ h)	Niedrigwasser	0	— 1	— 2	+ 2	+ 2	0	— 1	+ 1
3 h	Hochwasser	— 8	— 7	— 1	— 2	+ 3	+ 5	+ 7	—
(1½ h bis 4½ h)	Niedrigwasser	— 8	— 7	— 4	— 1	+ 4	+ 5	+ 7	—
6 h	Hochwasser	— 2	— 3	— 4	+ 2	+ 1	+ 5	—	—
(4½ h bis 7½ h)	Niedrigwasser	— 7	— 5	— 6	— 1	+ 4	+ 9	—	—
9 h	Hochwasser	+ 4	+ 2	+ 2	— 2	0	— 6	— 4	—
(4½ h bis 10½ h)	Niedrigwasser	+ 4	+ 1	0	+ 2	— 4	— 6	— 1	—

Die Stunde der Mondesculmination gilt für den 5. Durchgang vor Hochwasser.
Das Zeichen + bedeutet Verspätung, — Verfrühung.

Hoch- und Niedrigwasser werden, wie aus dieser Tabelle hervorgeht, im Allgemeinen gleichmässig beeinflusst und sowohl bei der mittleren Mondparallaxe von 57 Minuten wie bei gleichzeitiger Culmination von Sonne und Mond bleiben die Hafenzeiten die mittleren. Culminirt der Mond um drei Uhr, so tritt Hoch- und Niedrigwasser acht Minuten früher ein, wenn er sich in der Erd-

ferne befindet, sieben Minuten später, wenn er in Erdnähe ist; oder, wie sich aus einer Vergleichung mit dem Werthe der halbmonatlichen Ungleichheit für diese Stunde der Mondesculmination ergiebt, im ersteren Falle vergrössert sich die durch die Sonne bewirkte Abweichung von der mittleren Hafenzeit, im zweiten Falle verringert sie sich. Aehnlich ist es, wenn der Mond um sechs Uhr culminirt, weil dann die Ablenkung der Hafenzeit durch die Sonne nach derselben Seite erfolgt; umgekehrt aber, wenn der Mond um neun Uhr culminirt: weil dann die Wirkung der Sonne bei mittlerer Mondentfernung eine Verspätung der Eintrittszeit von Hoch- und Niedrigwasser zur Folge hat, so muss die Verspätung bei geringerer Mondentfernung wachsen, bei grösserer abnehmen. Dem Sinne nach stimmen also die durch die wechselnde Mondentfernung in den Eintrittszeiten bewirkten Aenderungen durchaus mit der Theorie überein, ob sie auch dem Maasse nach damit übereinstimmen, würden wir nur dann untersuchen können, wenn uns das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth bekannt wäre.

Die Abweichungen von den mittleren Hoch- und Niedrigwasserhöhen je nach dem Betrage der Mondparallaxe sind in der folgenden Tabelle enthalten:

Mondparallaxe	Abweichung vom Mittel in Cuxhaven		
	Hochwasser	Niedrigwasser	Fluthgrösse
54′	— 0,049 m	+ 0,074 m	— 0,123 m
55′	— 0,038 m	+ 0,062 m	— 0,100 m
56′	— 0,010 m	+ 0,036 m	— 0,046 m
57′	+ 0,010 m	+ 0,001 m	+ 0,009 m
58′	+ 0,021 m	— 0,043 m	+ 0,064 m
59′	+ 0,030 m	— 0,063 m	+ 0,093 m
60′	+ 0,067 m	— 0,081 m	+ 0,148 m
61′	+ 0,136 m	— 0,073 m	+ 0,209 m

Bei mittlerer Mondparallaxe haben Hoch- und Niedrigwasser sehr nahe ihre mittlere Höhe. Bei geringerer Parallaxe sinken die Hochwasser und steigen die Niedrigwasser, bei grösserer Parallaxe entgegengesetzt, so dass die Fluthgrösse ungefähr in geradem Ver-

hältnisse mit abnehmender Mondentfernung wächst, wobei aber die Niedrigwasserhöhen fast durchgängig stärker beeinflusst werden als die Hochwasserhöhen. Für die Grenzwerthe der Mondentfernung betragen die Unterschiede in der Fluthgrösse, mit der Theorie verglichen, freilich sehr wenig, nämlich nur 0,33 m d. i. ein Achtel der mittleren Fluthgrösse; da aber die Fluthwelle an ihrem Entstehungsorte jedenfalls eine geringere Höhe hat, so ist ein unmittelbarer Vergleich mit der Theorie wohl unzulässig. Lubbock untersuchte den Einfluss der Mondparallaxe auf die Hochwasserhöhen in London und Liverpool für die einzelnen Stunden der Mondesculmination. Obgleich die Wirkung der Mondparallaxe dort wegen der beträchtlicheren Fluthgrösse im Ganzen bedeutender ist (0,44 m in London gegen 0,19 m in Cuxhaven), so waren doch die Unterschiede in den Höhen für die verschiedenen Culminationsstunden des Mondes bei derselben Parallaxe sehr unregelmässig und ein entschiedener Einfluss der Culminationszeit auf die Wirkung der Parallaxe liess sich nicht nachweisen.

Sehr auffällig macht sich die Wirkung der Mondnähe in den Aequinoctien bemerkbar. Die Erdnähe des Mondes trifft dann auf die Syzygien, während gleichzeitig Sonne und Mond sich in der Ebene des Aequators befinden, wodurch die Springfluthgrösse ihren höchsten Werth erreichen muss. In den englischen und französischen Häfen pflegt man desshalb die Höhen der Aequinoctial-Springtiden gesondert anzugeben und auch an der deutschen Küste zeichnen sie sich aus, obwohl wahrscheinlich in geringerem Maasse.

Nachstehend sind die mittleren mit den Aequinoctial-Springfluthgrössen für einige Häfen zusammengestellt.

Hafen	Springfluthgrösse		Unterschied
	mittlere	Aequinoctial-	
Cuxhaven	3,1 m	3,6 m (im Frühjahre)	0,5 m
Le Hâvre	7,2 m	7,9 m	0,7 m
Brest	6,4 m	7,5 m	1,1 m
Holyhead	22 Fuss	26 Fuss	4 Fuss
Liverpool	26 Fuss	30 Fuss	4 Fuss
Dieppe	8,6 m	10,0 m	1,4 m

Die verhältnissmässig bedeutende Fluthgrösse von 3,6 m in Cuxhaven wird nur im Frühjahre beobachtet, weil sie, wie später nachgewiesen werden soll, durch eine eigenthümliche Mitwirkung der Sonne hervorgebracht wird.

§ 6. Einfluss der Mondesdeclination.

Nach Anleitung der Theorie bewirkt die Declination des Mondes Unterschiede in den Höhen und Eintrittszeiten zweier auf einander folgenden Tiden, welche die tägliche Ungleichheit derselben genannt werden, und ausserdem verändert sie auch die durchschnittlichen Höhen und Eintrittszeiten je zweier aufeinanderfolgenden Tiden; in ersterer Beziehung ändert sich mit der Richtung der Declination, ob südlich oder nördlich, die Reihenfolge der höheren und niedrigeren Tiden, in letzterer Beziehung aber haben südliche und nördliche Declination dieselbe Wirkung.. Wir werden die natürlichen Tiden hinsichtlich beider Wirkungen zu untersuchen haben und beginnen mit der zweiten.

Um den Einfluss der Richtung der Mondesdeclination auf das Hochwasser im Durchschnitte je zweier Tiden festzustellen, trennte Lubbock die in London während der neunzehn Jahre 1808 bis 1826 beobachteten Höhen und Eintrittszeiten nach dem Maasse und nach der Richtung der Declination des Mondes und fand die in den folgenden Tabellen beispielsweise für sechs und für einundzwanzig Grad angegebenen Unterschiede, wobei zu bemerken ist, dass jede Zahl der Tabelle den Mittelwerth aus etwa siebenhundert Beobachtungen bildet.

Abweichungen des Hochwassers in London bei 6, bez. 21 Grad südlicher und nördlicher Mondesdeclination, und die Unterschiede zwischen diesen Abweichungen.

Zeit des 5. Monddurchgangs vor Hochwasser	6° Declination			21° Declination		
	nördlich	südlich	Unterschied	nördlich	südlich	Unterschied
Abweichungen der Höhen in Fussen.						
12 bis 4 Uhr.....	+ 0,12′	+ 0,18′	+ 0,06′	— 0,22′	— 0,14′	+ 0,08′
4 bis 8 Uhr.....	+ 0,31′	+ 0 36′	+ 0,05′	— 0,34′	— 0,35′	— 0,01′
8 bis 12 Uhr.....	+ 0,17′	+ 0,21′	+ 0,04′	— 0,17′	— 0,33′	— 0,16′
Mittel	+ 0,20′	+ 0,25′	+ 0,05′	— 0,24′	— 0,27′	— 0,03′
Abweichungen der Eintrittszeiten in Minuten.						
12 bis 4 Uhr.....	+ 2	— 1	— 3	— 3	— 6	— 3
4 bis 8 Uhr.....	+ 2	+ 3	+ 1	— 2	— 4	— 2
8 bis 12 Uhr.....	0	— 1	— 1	— 2	0	+ 2
Mittel	+ 1	0	— 1	— 2	— 3	— 1

Die Abweichungen betragen also, wenn die Declination des Mondes um neun, bez. sechs Grad von seiner mittleren abweicht, in den Höhen des Hochwassers etwa einen viertel Fuss, in den Hochwasserzeiten höchstens sechs Minuten, aber die Unterschiede zwischen diesen Abweichungen bei nördlicher und südlicher Mondesdeclination betragen nicht mehr als einen halben Zoll und eine einzige Minute. Bei einer Fluthgrösse von ungefähr siebenzehn Fuss fällt ein halber Zoll überhaupt nicht in's Gewicht und eine einzelne Minute ist zu wenig, um unter diesen Umständen Berücksichtigung beanspruchen zu können. Man kann deshalb behaupten, dass die Richtung der Mondesdeclination auf das Hochwasser in London ohne Einfluss ist und wahrscheinlich wird ein solcher auch an anderen Orten in dieser Beziehung schwerlich nachzuweisen sein. Ich habe ihn deshalb im Folgenden ausser Acht gelassen und gehe zu den Cuxhavener Beobachtungen über, weil die von London nur die Hochwasser umfassen.

In den Cuxhavener Hoch- und Niedrigwasser-Beobachtungen zeigt sich der Einfluss der Mondesdeclination nicht sehr regelmässig. Dies rührt daher, dass der Einfluss des Windes die Höhen und Eintrittszeiten sehr häufig bedeutend verschiebt, so dass selbst der Durchschnitt einer grösseren Anzahl von Beobachtungen noch Spuren der unregelmässigen Wirkung des Windes trägt. Ich habe deshalb in der folgenden Tabelle, welche den Einfluss der

Durch die Mondesdeclination bewirkte Abweichungen des Hoch- und Niedrigwassers in Cuxhaven.

Mondes-declination	Zeit der fünften Mondesculmination vor Hochwasser					
	$10\frac{3}{4}$ bis $1\frac{1}{4}$ Uhr	$1\frac{1}{4}$ bis $3\frac{1}{4}$ Uhr	$3\frac{1}{4}$ bis $5\frac{3}{4}$ Uhr	$5\frac{3}{4}$ bis $8\frac{1}{4}$ Uhr	$8\frac{1}{4}$ bis $10\frac{3}{4}$ Uhr	Mittel
Abweichungen der Hoch- und Niedrigwasserzeiten in Minuten.						
0 bis 6° Hochwasser	+ 3	+ 4	+ 7	+ 3	— 1	+ 3
0 bis 6° Niedrig „	+ 4	+ 4	+ 8	+ 7	+ 2	+ 5
7 bis 12° Hochwasser	+ 2	+ 2	+ 6	0	0	+ 2
7 bis 12° Niedrig „	+ 3	+ 3	+ 8	+ 3	+ 2	+ 4
13 bis 18° Hochwasser	0	0	0	0	+ 1	0
13 bis 18° Niedrig „	0	— 1	— 1	+ 2	0	0
19° u. mehr Hochwasser	— 3	— 3	— 9	— 4	0	— 4
19° u. mehr Niedrig „	— 3	— 4	— 10	— 5	— 1	— 5
Abweichungen der Höhen von Hoch- und Niedrigwasser.						
0 bis 6° Hochwasser	+ 0,041 m	+ 0,018 m	— 0,001 m	+ 0,019 m	+ 0,012 m	+ 0,018 m
0 bis 6° Niedrig „	— 0,030 m	— 0,030 m	— 0,060 m	— 0,057 m	— 0,054 m	— 0,046 m
7 bis 12° Hochwasser	+ 0,016 m	+ 0,010 m	+ 0,009 m	+ 0,011 m	+ 0,005 m	+ 0,010 m
7 bis 12° Niedrig „	— 0,034 m	— 0,034 m	— 0,039 m	— 0,045 m	— 0,038 m	— 0,038 m
3 bis 18° Hochwasser	— 0,002 m	+ 0,001 m	— 0,001 m	+ 0,002 m	+ 0,023 m	+ 0,005 m
3 bis 18° Niedrig „	— 0,010 m	— 0,017 m	— 0,001 m	— 0,002 m	+ 0,011 m	— 0,004 m
19° u. mehr Hochwasser	— 0,016 m	— 0,011 m	0	— 0,015 m	+ 0,003 m	— 0,008 m
19° u. mehr Niedrig „	+ 0,027 m	+ 0,038 m	+ 0,047 m	+ 0,042 m	+ 0,041 m	+ 0,039 m

Demnach Abweichungen der Fluthgrösse.

Bei 0 bis 6°	7 bis 12°	13 bis 18°	19° und mehr
+ 0,064 m	+ 0,048 m	+ 0,009 m	— 0,047 m

Mondesdeclination auf die Höhen und Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser nachweist, die Resultate stark zusammengedrängt.

Die Abweichungen der Höhen, wie sie aus dieser Tabelle zu ersehen sind, scheinen im Allgemeinen zu allen Culminationszeiten des Mondes gleich zu sein und veranlassen eine mit dem Betrage der Mondesdeclination abnehmende Fluthgrösse. Diese Abnahme ist aber nicht gleichmässig auf Hoch- und Niedrigwasser vertheilt, sondern im Niedrigwasser etwa dreimal so stark wie im Hochwasser. Gerade das Gegentheil von dem, was bei den theoretischen Tiden stattfindet: auf dem Aequator werden nur die Hochwasser durch die Mondesdeclination beeinflusst und auch auf den höheren Breitengraden senken sich die Hochwasser bei zunehmender Mondesdeclination viel mehr als die Niedrigwasser sich heben. Die Mondesdeclination verändert deshalb die Höhen in einer von der Theorie entschieden abweichenden Weise. — Die beobachteten Veränderungen der Eintrittszeiten ergeben minder bestimmte Resultate; sie scheinen zwar im Allgemeinen auch eine Schwächung der Mondwelle mit zunehmender Mondesdeclination anzudeuten, allein es ist auffallend, dass die Hafenzeiten bei geringer Declination des Mondes zu allen Zeiten seiner Culmination stets zu-, bei starker Declination ebenso stets abnehmen. Aehnlich wie die Höhen werden auch die Zeiten des Niedrigwassers durchschnittlich um ein bis zwei Minuten stärker abgelenkt als die Hochwasserzeiten.

Viel characteristischer für die Tiden des Atlantischen Oceans als die eben betrachteten Veränderungen ist ihre durch die Mondesdeclination hervorgebrachte tägliche Ungleichheit. Wenn man sich eine wochen- oder monatelange Reihe von Hoch- und Niedrigwasserhöhen aufzeichnet, so bemerkt man nicht nur die auf- und niedersteigenden Linien der halbmonatlichen Ungleichheit, sondern auch, namentlich im Hochwasser, deutlich ausgeprägte Zickzacklinien, indem die Hoch- und Niedrigwasser eins um's andere abwechselnd, höher und niedriger sind. In Zwischenräumen, welche mit den Zeiten, die von einem Durchgange des Mondes durch die Aequatorebene bis zum nächsten verfliessen, übereinstimmen, sieht man ausnahmsweise zwei Hochwasser von gleicher Höhe und darauf springt die tägliche Ungleichheit um, d. h. die Zickzacklinien beginnen wieder, aber wenn vorher die Morgentide die höhere war, so wird diese jetzt die niedrigere und die Abendtide die höhere, und ebenso umgekehrt. Häufig werden die Zickzacklinien undeutlich,

weil der Wind ihre Regelmässigkeit stört, aber bei günstigen Witterungsverhältnissen kann man sie mit zweifelloser Deutlichkeit verfolgen. Die allgemeinen Gesetze, welche die Erscheinung der täglichen Ungleichheit regeln, sind aus der Theorie bekannt, aber wir bestreben uns bis jetzt vergeblich, sie auch aus der Natur abzuleiten, denn in der Natur bietet die Erscheinung viel Räthselhaftes, das wir bis jetzt nur beobachten, nicht erklären konnten. In Figur 21 sind eine Anzahl gleichzeitig beobachteter Hochwasserhöhen aufgetragen, aus denen die Art des Auftretens der täglichen Ungleichheit im Atlantischen Ocean im Allgemeinen erkannt werden kann.

Die in Figur 21 verzeichneten Hochwasserhöhen sind für beliebig ausgewählte Orte den auf Veranlassung Whewell's im Jahre 1835 angestellten Beobachtungen entnommen. Die neun unteren Orte liegen in Europa, längs der Küste von Portugal bis hinauf nach Schleswig, und diese sind derart gegen einander verschoben, dass die nach Maassgabe der Cotidal-lines einer und derselben Fluthwelle zugehörigen Hochwasser stets in derselben senkrechten Linie liegen. Die beiden oberen, in Nordamerika liegenden Orte, für welche ein ähnlicher Anhaltspunkt nicht vorlag, sind dem Zeitunterschiede entsprechend über die anderen gezeichnet. An allen Orten bemerkt man mehr oder weniger deutlich die erwähnten Zickzacklinien, namentlich bei den beiden amerikanischen Städten sind sie während der ganzen Zeit tadellos ausgeprägt. In Savannah beginnt die Reihe am 9. Juni, mit einem niedrigeren Hochwasser, denn das am Abend eintretende Hochwasser ist einen Fuss höher als das am Morgen eingetretene. Aehnlich ist es an den folgenden Tagen, bis zum 16. Juni einschliesslich. Am 17. Juni, nachdem inzwischen das Morgenhochwasser das höhere geworden ist, tritt Nachmittags noch das niedrigere Hochwasser ein, aber das Morgenhochwasser vom 18. Juni ist nicht mehr das höhere, sondern jetzt das niedrigere; das Umspringen der täglichen Ungleichheit ist erfolgt und das Nachmittagshochwasser am 18. Juni ist wieder zweifellos als das höhere zu erkennen. Fast ebenso ist es in Boston, nur tritt hier das Umspringen erst am 18./19. Juni ein, nämlich genau gleichzeitig mit dem Durchgange des Mondes durch die Aequatorebene, also genau in dem von der Theorie vorgeschriebenen Zeitpunkte. In Europa aber ist die Erscheinung an ganz andere und an ganz verschiedene Zeitpunkte gebunden. Am 12. und

26. Juni, den Tagen der stärksten Mondesdeclination, ist die tägliche Ungleichheit in Europa fast überall schwach; am stärksten und an allen Orten in demselben Sinne ist sie etwa am 15./16. Juni und dem entsprechend springt sie auch viel später um: in Sines am 21./22. Juni, in Santander am 24. Juni; in Gerrans Bay ebenfalls, in Achilbeg am 22. Juni, in Cherbourg am 24. Juni, in Fraserburgh und Katwijk am 21. Juni und bei Amrum am 23./24. Juni. Hieraus ergeben sich schon Unterschiede in dem Zeitpunkte des Umspringens bis zu sechs Tagen, und will man das Zeugniss dieser vereinzelten Beobachtungen etwa verwerfen, so lassen sich gründlichere Untersuchungen anführen, welche ein ähnliches Resultat liefern. An der nordamerikanischen Küste zwar findet man an allen Punkten die tägliche Ungleichheit nahezu gleichzeitig mit dem Durchgange des Mondes durch die Aequatorebene umspringen, aber aus mehrmonatlichen Beobachtungen fand Whewell diesen Zeitpunkt für

Plymouth	4	Tage,
Bristol	5	»
Liverpool	6	»

und für Leith gar 12 Tage später als den Durchgang des Mondes durch die Aequatorebene. In der täglichen Ungleichheit der Niedrigwasserhöhen begegnen wir gleichfalls besonderen Eigenthümlichkeiten. Die Reihenfolge der höheren und niedrigeren Hoch- und Niedrigwasser wechselt nicht, wie wir nach der Theorie erwarten könnten, mit dem Wechsel in der Richtung der Mondesdeclination, sondern diese Reihenfolge bleibt der Regel nach stets dieselbe, indem das höhere Hochwasser immer dem höheren Niedrigwasser folgt. — In Europa — wenigstens von Brest, Plymouth und Cuxhaven kann ich dies nachweisen — springen deshalb beide Ungleichheiten gewöhnlich gleichzeitig oder nahe gleichzeitig um, aber in Amerika nicht, denn das Umspringen der täglichen Ungleichheit in den Niedrigwasserhöhen erfolgt z. B. in Boston drei Tage, in Fernandina elf Tage nachdem der Mond die Aequatorebene passirt hat; in Amerika wird dadurch also auch die Reihenfolge der höheren und niedrigeren Hoch- und Niedrigwasser zeitweilig eine andere.

Abgesehen von dem Zeitpunkte des Umspringens scheint die tägliche Ungleichheit der Tiden im ganzen Atlantischen Ocean, jedoch mit Ausnahme des Mexicanischen Meerbusens, durchaus in

derselben Form aufzutreten, denn die Unterschiede in den Höhen zweier aufeinander folgenden Hochwasser betragen an der europäischen und nordamerikanischen Küste — am Cap der guten Hoffnung ebenfalls — ein bis zwei Fuss und sind in den Niedrigwasserhöhen überall bedeutend geringer. Der Theorie widerspricht die Gleichförmigkeit dieser Eigenschaft über eine Ausdehnung von vollen neunzig Breitengraden in auffallender Weise, aber wir finden wieder manche Anklänge an dieselbe, wenn wir die Veränderungen der täglichen Ungleichheit an einem und demselben Orte näher untersuchen, was an dem Beispiele Cuxhaven's nachgewiesen werden soll.

Die tägliche Ungleichheit in Cuxhaven folgt der Mondesdeclination nach sieben Tagen und zwar in folgender Weise: wenn die Mondesdeclination an irgend einem Tage nördlich ist, so ist das sieben Tage später, gleich nach oder vor der oberen Mondesculmination eintretende Hochwasser das höhere, das an demselben Tage gleich nach oder vor der unteren Mondesculmination eintretende Hochwasser das niedrigere und bei südlicher Mondesdeclination ist das Entgegengesetzte der Fall, indem das höhere Hochwasser zur unteren Mondesculmination gehört, das niedrigere Hochwasser zur oberen; die höheren und niedrigeren Niedrigwasser ergeben sich dadurch, dass sie stets dem gleichnamigen Hochwasser vorangehen. Das Maass, um welches die höheren Hoch- und Niedrigwasser die mittlere, aus der halbmonatlichen Ungleichheit sich ergebende, Höhe überschreiten und um welches die niedrigeren Hoch- und Niedrigwasser darunter bleiben, ist im Durchschnitte von etwa je hundertundvierzig Beobachtungen aus einer Reihe günstiger Monate — d. h. solcher, in denen die tägliche Ungleichheit sich deutlich ausgesprochen fand — ermittelt wie folgt:

Mondes-declination	0—3°	3—6°	6—9°	9—12°	12—15°	15—18°	18—21°	21—24°	24° u. mehr
Hochwasser	0,01 m	0,04 m	0,05 m	0,07 m	0,09 m	0,10 m	0,11 m	0,11 m	0,14 m
Niedrigw.	N 0,00 m S —0,02 m	0,02 m	0,02 m	0,03 m	0,04 m	0,04 m	0,05 m	0,06 m	0,07 m

so dass die Zahlen dieser Tabelle den mittleren Hoch- und Niedrigwasserhöhen zuzulegen, bez. von ihnen abzuziehen sind. Im Allgemeinen stellt sich die Wirkung südlicher und nördlicher Declination als gleich heraus, nur bei der Declination bis zu drei Grad ist sowohl im Maass wie im Vorzeichen beim Niedrigwasser ein Unterschied verhanden, der auf einen verschiedenen Zeitpunkt des Umspringens bei nördlicher und südlicher Mondesdeclination hindeutet, wie unter günstigen Umständen auch in Einzelfällen wahrgenommen werden kann. Dieser Unterschied ist indess wegen seines geringen Betrages schwierig weiter zu verfolgen, denn es finden sich häufig viel grössere Maassunterschiede, welche durch die verschiedene Entfernung des Mondes bewirkt sein können. Um hierüber Gewissheit zu erlangen, trennte ich etwa achthundertundfunfzig Hoch- und Niedrigwasser nach Parallaxe und Declination des Mondes und fand dadurch allerdings die tägliche Ungleichheit bei stärkster Parallaxe des Mondes ungefähr um die Hälfte grösser als bei schwächster, wie die folgende Tabelle nachweist.

Tägliche Ungleichheit in Cuxhaven

Declination des Mondes	Mondparallaxe							
	54 und 55′		56 und 57′		58 und 59′		60 und 61′	
	Hochwasser	Niedrigwasser	Hochwasser	Niedrigwasser	Hochwasser	Niedrigwasser	Hochwasser	Niedrigwasser
3 bis 9 °	0,04 m	0,02 m	0,06 m	0,01 m	0,08 m	0,04 m	0,07 m	0,04 m
9 bis 15 °	0,08 m	0,04 m	0,08 m	0,03 m	0,09 m	0,04 m	0,12 m	0,06 m
15 bis 21 °	0,11 m	0,05 m	0,12 m	0,04 m	0,12 m	0,05 m	0,15 m	0,07 m
21 ° und mehr	0,13 m	0,08 m	0,14 m	0,07 m	0,15 m	0,06 m	0,19 m	0,07 m

Allein die in der Natur auftretenden Unterschiede wurden dadurch noch nicht zur Genüge erklärt. Z. B. im August 1855 war die tägliche Ungleichheit in Cuxhaven vier Tage hintereinander ausser-

ordentlich regelmässig und doch übertrafen die vier höheren Hochwasser im Durchschnitt die vier niedrigeren um 0,59 m an Höhe, während dieser Unterschied nach der letzten Tabelle nicht mehr als 0,38 m hätte betragen sollen. Aehnliches berichtet Whewell von Plymouth, denn er sagt, dass dort gewöhnlich vier Grad der Mondesdeclination einen Zoll Unterschied in der Höhe des Hochwassers hervorbringen, zuweilen seien jedoch nur drei, zuweilen aber auch sechs Grad dazu erforderlich und ebenfalls fand er, dass in vier aufeinander folgenden Monaten je fünf, sechs, sieben, neun Grad der Mondesdeclination einen Zoll Unterschied in der Höhe des Niedrigwassers bewirkten. Nach Maassgabe der Theorie ist zu vermuthen, dass die Stunde der Mondesdeclination das Maass der täglichen Ungleichheit beeinflusst und es würde sich empfehlen, die Beobachtungen einer Reihe von Jahren in dieser Beziehung systematisch zu untersuchen. Man könnte auch glauben, dass das Maass der täglichen Ungleichheit durch die Mitwirkung der Sonne beeinflusst würde, allein dies scheint durchaus nicht der Fall zu sein, wie aus der folgenden Untersuchung hervorgehen wird.

Wenn die Sonne eine tägliche Ungleichheit in den Tiden hervorbringt, so wird diese im Hochwasser wahrscheinlich um die Zeit der Springtiden am deutlichsten hervortreten, weil dann Sonnen- und Mondeshochwasser gleichzeitig eintreffen. Ich stellte deshalb die Höhen sämmtlicher Hochwasser, welche in Cuxhaven während neunzehn Jahren zwischen zwölf und halbzwei (nach wahrer Zeit) eingetreten waren, zusammen, trennte sie aber nach Monaten und nach der Tageszeit. In jedem halben synodischen Monate nahm ich nicht mehr und nicht weniger als vier Hochwasser, zwei Mittags- und zwei Mitternachtstiden, und da bald die ersteren, bald die letzteren den Anfang machten, so waren Beide in durchaus gleicher Weise von der Zeit der Mondesculmination abhängig. Da ferner auch der Wind die Mittagstiden durchschnittlich nicht anders beeinflussen wird als die Mitternachtstiden und da endlich die Aenderungen in der Entfernung von Sonne und Mond sich Mittags ebenso geltend machen werden wie um Mitternacht, so können die etwaigen Unterschiede in den Höhen der um Mittag und der um Mitternacht eintretenden Hochwasser nur durch die Declination, entweder der Sonne oder des Mondes oder Beider, hervorgerufen sein.

Die mittleren Hochwasserhöhen um Mittag und um Mitternacht, iede einzelne der Mittelwerth aus sechsundsiebenzig bis

achtzig Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt und, wie zu erwarten war, sind sie durchschnittlich einander gleich, nämlich 4,90 m am Fluthmesser, in den einzelnen Monaten aber

Höhen der in Cuxhaven zwischen 12 und 1½ Uhr eintretenden Hochwasser.

19-jähriger Durchschnitt 1843/61.

Monat	Mittags	Mitternachts	Unterschied
Januar	4,74 m	4,88 m	+ 0,14 m
Februar	4,90 m	5,04 m	+ 0,14 m
März	4,75 m	4,96 m	+ 0,21 m
April	4,75 m	4,96 m	+ 0,21 m
Mai	4,82 m	4,91 m	+ 0,09 m
Juni	4,94 m	4,92 m	— 0,02 m
Juli	5,05 m	4,94 m	— 0,11 m
August	5,02 m	4,85 m	— 0,17 m
September	5,06 m	4,84 m	— 0,22 m
October	5,03 m	4,87 m	— 0,16 m
November	4,87 m	4,79 m	— 0,08 m
December	4,84 m	4,89 m	+ 0,05 m
Mittel	4,898 m	4,904 m	+ 0,006 m

mehr oder weniger von einander abweichend. Im März ist die Mitternachtstide 0,21 m höher, im September 0,22 m niedriger als die Mittagstide, und zwischen diesen beiden Extremen findet ein allmähliger Uebergang statt, so dass im Juni und December beide Tiden an Höhe einander sehr nahe gleich sind. Da aber gerade in diesen beiden Monaten die Declination der Sonne am stärksten ist, so können die Unterschiede in der Höhe der Mittags- und Mitternachts-

tiden nicht durch die Sonne erzeugt sein, oder, mit anderen Worten, eine durch die Sonne bewirkte tägliche Ungleicheit ist in den Cuxhavener Tiden nicht zu entdecken und in diesen Unterschieden finden wir nur die bereits bekannte, durch den Mond bewirkte, tägliche Ungleichheit wieder. Allerdings ist, wie bereits erwähnt, die Mondesdeclination im neunzehnjährigen Durchschnitte — und annähernd auch in jedem einzelnen Jahre — für jedes der sechs Monatspaare Januar - Juli, Februar - August, u. s. w. für dieselben Stunden der Mondesculmination dieselbe, aber für die beiden Monate jedes der sechs Paare stets von entgegengesetzter Richtung. Der Zusammenhang ergiebt sich im Einzelnen aus der folgenden Tabelle, welche die Mondesdeclinationen an den Tagen der Syzygien — auf die die zwischen zwölf und halbzwei Uhr in Cuxhaven eintretenden Hochwasser durchschnittlich fallen — enthält; ferner die Mondesdeclinationen vom siebenten Tage vor den Syzygien und endlich die eben gefundenen Unterschiede zwischen den Höhen der um Mittag und der um Mitternacht eintretenden Hochwasser.

Cuxhaven. Monat	Déclination des Mondes $18^{43}/_{61}$ wenn seine obere Culmination stattfindet um		7 Tage vor seiner oberen Culmination um		Hochwasser um Mitternacht höher (+) oder niedriger (—) als um Mittag	Unterschied
	Mittag	Mitternacht	Mittag	Mitternacht		
Januar	22 ° S	22 ° N	6 ° S	6 ° N	+ 0,14 m	0,03 m
Juli	22 ° N	22 ° S	6 ° N	6 ° S	— 0,11 m	
Februar	14 ° S	13 ° N	17 ° S	18 ° N	+ 0,14 m	0,03 m
August	15 ° N	14 ° S	17 ° N	17 ° S	— 0,17 m	
März	3 ° S	1 ° N	22 ° S	23 ° N	+ 0,21 m	0,01 m
September ..	5 ° N	3 ° S	22 ° N	23 ° S	— 0,22 m	
April	8 ° N	10 ° S	21 ° S	21 ° N	+ 0,21 m	0,05 m
October.....	8 ° S	9 ° N	22 ° N	21 ° S	— 0,16 m	
Mai	18 ° N	19 ° S	15 ° S	14 ° N	+ 0,09 m	0,01 m
November ...	18 ° S	18 ° N	15 ° N	14 ° S	— 0,08 m	
Juni.....	23 ° N	23 ° S	4 ° S	3 ° N	— 0,02 m	0,03 m
December ...	23 ° S	23 ° N	4 ° N	2 ° S	+ 0,05 m	

Z. B. für den Januar verhält sich die Sache nach den für die tägliche Ungleichheit in Cuxhaven entwickelten Regeln folgendermaassen. Wenn die obere Culmination des Mondes im Januar Mittags stattfindet, so ist seine Declination sieben Tage früher sechs Grad südlich gewesen und deshalb muss das zur unteren Culmination gehörige Hochwasser, also das mitternächtliche, das höhere sein. Einen halben synodischen Monat früher oder später im Januar, beim Vollmonde, wenn die obere Culmination des Mondes um Mitternacht stattfindet, ist seine Declination sieben Tage früher sechs Grad nördlich gewesen und deshalb muss nun das zu seiner oberen Culmination gehörige Hochwasser, also wiederum das mitternächtliche, das höhere sein. Folglich sind im Januar die bald nach Mitternacht in Cuxhaven eintretenden Hochwasser stets höher als die bald nach Mittag eintretenden, und im Juli ist gerade das Gegentheil der Fall, weil das Maass der Mondesdeclination zwar dasselbe ist, ihre Richtung aber die entgegengesetzte. Dem entsprechend finden wir in der Tabelle die mitternächtlichen Hochwasser im Januar 0,14 m höher, im Juli 0,11 m niedriger als die mittäglichen, wobei auf den geringen Unterschied von 0,03 m — der in den übrigen Monatspaaren zwischen 0,01 m und 0,05 m schwankt und wahrscheinlich durch den nicht ganz beseitigten Einfluss des Windes zu erklären ist — schwerlich Gewicht gelegt werden kann. Entnimmt man aus der letzten Tabelle die halben Höhenunterschiede zwischen dem mittäglichen und dem mitternächtlichen Hochwasser, so erhält man, analog den auf Seite 70 gefundenen Zahlen, folgende Werthe für die tägliche Ungleichheit des Hochwassers in Cuxhaven:

Mondesdeclination	3°	6°	14°	17°	21°	22½°
Abweichung des Hochwassers von der mittleren Höhe	± 0,02 m	0,06 m	0,04 m	0,08 m	0,09 m	0,11 m

welche im Allgemeinen mit jenen hinreichend übereinstimmen.

Selbstverständlich beschränkt sich der regelmässige, an die Monate gebundene Wechsel zwischen den höheren und niedrigeren Tiden nicht auf die um Mittag und Mitternacht eintretenden Hoch-

wasser, sondern er erstreckt sich auch auf die Hochwasser der übrigen Tageszeiten, wie man mit Hülfe der auf Seite 74 für die Tage der Syzygien angeführten Mondesdeclination leicht weiter verfolgen kann. Wenn die Hafenzeit eines Ortes und die Zeit des Umspringens seiner täglichen Ungleichheit bekannt sind, kann man deshalb ohne weitere Untersuchungen angeben, in welchen Monaten seine Tiden für eine gewisse Tageszeit die höheren oder die niedrigeren sind. Im Atlantischen Ocean pflegt man der täglichen Ungleichheit wegen ihrer geringen Grösse wenig Beachtung zu schenken, aber an anderen Meeren, in denen sie stärker hervortritt, hat man diese Abhängigkeit der höheren und niedrigeren Tiden von den Tageszeiten längst bemerkt. In den englischen Tidetafeln (deutsche Tidetafeln der Art giebt es nicht), welche Hafenzeiten und Fluthgrössen für unzählige Häfen aller Meere enthalten, finden sich manche darauf bezügliche Angaben: »Cambay, Westküste von Hindostan, Springfluthgrösse bei Tage 23 Fuss, bei Nacht 30 Fuss«; »Sedashigar Bay, ebenda, die Springtiden steigen Vormittags 6 Fuss, Nachmittags $7^1/_2$ Fuss von October bis März, und entgegengesetzt im übrigen Theile des Jahres.« Auch an der deutschen Küste würde die Bekanntschaft mit der täglichen Ungleichheit dem Schiffer bisweilen sehr nützlich sein,*) denn wenn ihre Wirkungen auch häufig durch den Wind verwischt werden, so sind sie bei stillem Wetter doch mit Sicherheit zu erwarten und können, z. B. für das Schicksal eines festgerathenen Schiffes, unter Umständen von entscheidender Wichtigkeit sein. In den französischen und nordamerikanischen Tidetafeln findet man auch die vorausberechneten Höhen von Hoch- und Niedrigwasser mit Berücksichtigung der täglichen Ungleichheit angegeben, und in Bezug auf Nordamerika will ich ein Beispiel anführen, welches zugleich bezweckt, die tägliche Ungleichheit der Zeit und die Aehnlichkeit der Tiden des Atlantischen Oceans an den Küsten Europa's und Amerika's zu veranschaulichen.

Figur 22 enthält die Höhen und Hafenzeiten von Hoch- und Niedrigwasser für vierzehn Tage in Fernandina und Cuxhaven, zwei Häfen, die dreiundzwanzig Breitengrade und neunzig Längengrade von einander entfernt sind. Die Angaben für Fernandina

*) Die von der deutschen Admiralität für das Jahr 1879 herausgegebenen Tidetafeln enthalten die, nach den hier entwickelten Regeln berechneten Cuxhavener Hochwasserhöhen.

sind den, offenbar mit ausserordentlicher Sorgfalt berechneten, Tidetafeln entnommen. Für Cuxhaven sind in vollen Linien die beobachteten, in punktirten Linien die berechneten (6) Höhen und Hafenzeiten aufgetragen; die Abweichungen zwischen Beiden erklären sich durch die Wirkung des Windes, dessen Richtung und Schnelligkeit in Metern pr. Secunde auf der Zeichnung angegeben ist. Ausserdem sind für beide Häfen die Mondphasen und die Tage der schwächsten und stärksten Mondesdeclination angedeutet.

Ein Blick auf die halbmonatlichen Ungleichheiten der vierzehn Tage zeigt, dass die Curven für Fernandina viel schwächer gekrümmt sind als für Cuxhaven, was durch die bereits erwähnte verhältnissmässig sehr geringe Grösse der Sonnenfluth an der amerikanischen Küste bewirkt wird. Die täglichen Ungleichheiten der Höhen springen um in Cuxhaven am 28. April, sieben Tage nach dem Durchgange des Mondes durch die Aequatorebene, übereinstimmend nach der Beobachtung und der Berechnung. Eine tägliche Ungleichheit der Zeit ist in Cuxhaven sowohl im Hochwasser wie im Niedrigwasser schwach ausgeprägt und zwar in der Art, dass die höheren Hoch- und Niedrigwasser früher eintreten als die niedrigeren; die dadurch bewirkte Abweichung der Eintrittszeiten scheint aber im Hoch- und Niedrigwasser nicht mehr als höchstens eine halbe Viertelstunde nach jeder Seite zu betragen. In Fernandina springt die tägliche Ungleichheit in der Höhe des Hochwassers am 11. April um, an demselben Tage, an dem die Declination des Mondes Null ist; in der Höhe des Niedrigwassers aber schon am 8. April oder elf Tage, nachdem der Mond den Aequator passirte. Eine tägliche Ungleichheit in der Zeit des Hochwassers ist bei der Berechnung nicht angenommen, wird also entweder garnicht oder nur sehr schwach vorhanden sein. Eine tägliche Ungleichheit in der Zeit des Niedrigwassers ist dagegen etwa in demselben Betrage wie in Cuxhaven ersichtlich, jedoch von dieser scheinbar abweichend, denn nicht das höhere Niedrigwasser ist das frühere, sondern das niedrigere. Diese Abweichung stellt sich durch einen Blick auf die theoretischen Tiden als eine scheinbare heraus. Wir haben gesehen, dass bei diesen stets zwei tägliche Ungleichheiten einander parallel gehen, nämlich die in der Höhe des Hochwassers und in der Zeit des Niedrigwassers, sowie die in der Zeit des Hochwassers und in der Höhe des Niedrigwassers. Diesen Parallelismus finden wir in der Natur wieder und die tägliche Ungleichheit in der Zeit des

Niedrigwassers springt in Fernandina gleichzeitig um mit derjenigen in der Höhe des Hochwassers. Man darf demnach erwarten, dass sich die tägliche Ungleichheit in der Zeit des Niedrigwassers auch im Uebrigen nach derjenigen in der Höhe des Hochwassers richtet und dies ist in der That der Fall, denn in Fernandina wie in Cuxhaven folgt das höhere Hochwasser dem früheren Niedrigwasser. Folglich stellt sich auch in dieser Beziehung die Aehnlichkeit zwischen den Tiden dieser beiden Häfen heraus und der Unterschied zwischen ihnen beschränkt sich darauf, dass die Zeitpunkte des Umspringens der täglichen Ungleichheit nicht miteinander übereinstimmen.

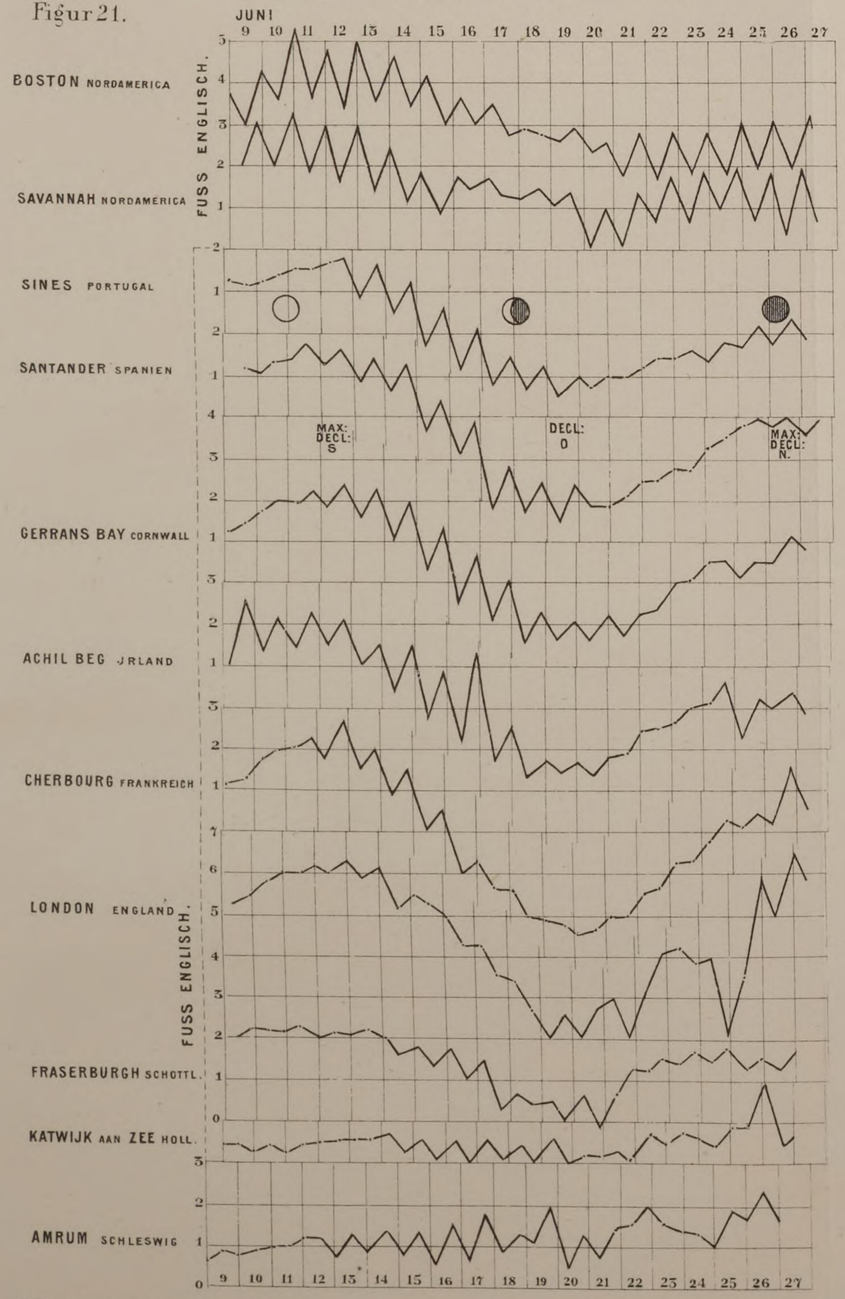
Endlich ist noch ein Umstand zu erwähnen, der wahrscheinlich einen, wenn auch nur unmerklichen, Einfluss auf die tägliche Ungleichheit ausübt. Es ist dies der Unterschied zwischen den Tiden oberer und unterer Culmination, welcher sich nach der Theorie in der Art äussern soll, dass das zur oberen Culmination gehörige Hochwasser das zur unteren Culmination gehörige an Höhe um etwas übertrifft. Lubbock trennte die Höhen der während neunzehn Jahren in Liverpool eingetretenen Hochwasser nach oberer und unterer Culmination des Mondes und fand das folgende Resultat:

Stunden der Mondesculmination			0 bis 3 h	3 bis 6 h	6 bis 9 h	9 bis 12 h
Höhen des Hochwassers nach	oberer	Culmination des Mondes	17′ 5,5″	14′ 8,3″	12′ 6,2′ ′	16′ 0,4″
	unterer		17′ 8,3″	14′ 10,8″	12′ 8,8″	16′ 2,9″
Höhenunterschiede			+ 0′ 2,8″	+ 0′ 2,5′	+ 0′ 2,6″	+ 0′ 2,5″

Um dies Resultat zu würdigen, muss man berücksichtigen, dass wir nicht wissen, welches der beiden Hochwasser eines Tages bei oberer, und welches bei unterer Culmination erzeugt ist, denn die Länge des Zeitraumes, welcher zwischen der Erzeugung der Fluthwelle und ihrer Ankunft an der Küste verfloss, ist uns unbekannt. Sieht man also davon ab, so hat sich in Liverpool herausgestellt, dass das zu einer Mondesculmination gehörige Hochwasser zu allen Zeiten der Mondesculmination um durchschnittlich 2,6 Zoll — d. i. 1/98. der mittleren Fluthgrösse Liverpools — das zur anderen Mondesculmination gehörige Hochwasser an Höhe über-

Figur 21.

HOCHWASSER HÖHEN 1835.



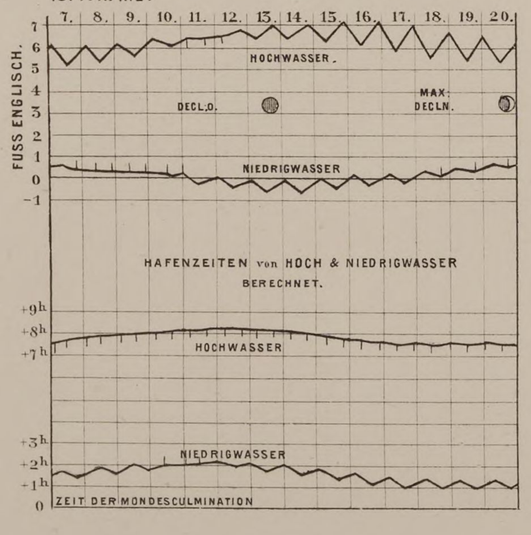
Wilh. Fenck, Lith. Anstalt, Hamburg.

Figur 22.

FERNANDINA. 30°41' N.Br: 81°40' W. von Greenwich.

Höhen von Hoch- & Niedrigwasser. Berechnet.

1877. APRIL.

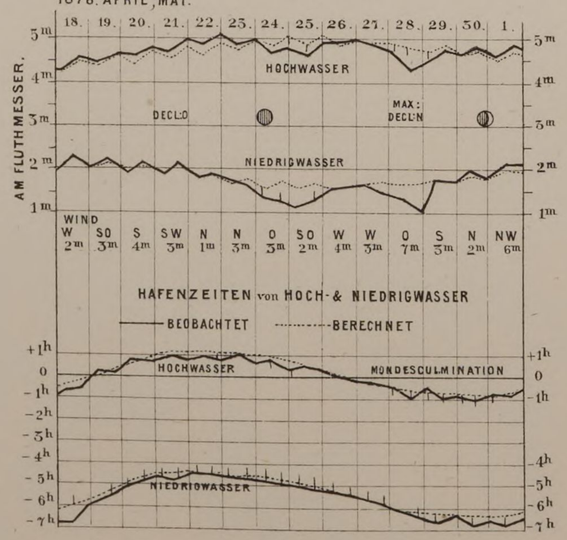


CUXHAVEN. 53°52' N.Br: 8°42' O. von Greenwich.

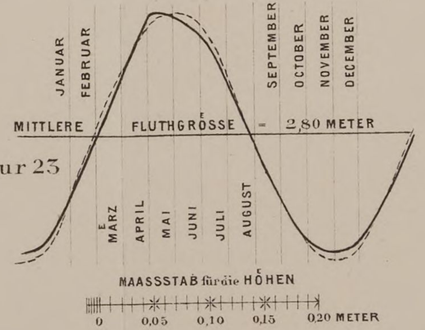
Höhen von Hoch- & Niedrigwasser.

BEOBACHTET ..... BERECHNET.

1876. APRIL, MAI.

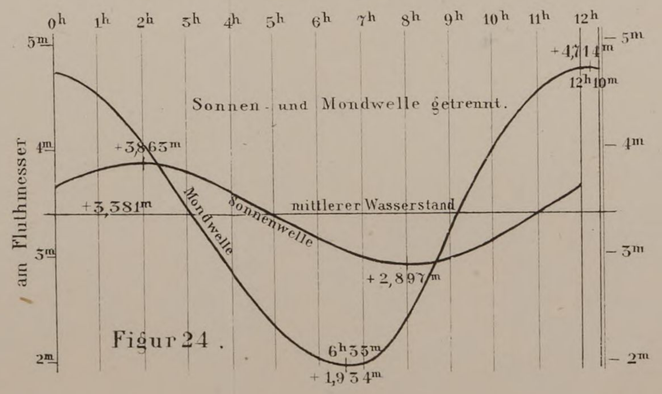


FLUTHGRÖSSE in CUXHAVEN.



Figur 23

CUXHAVEN. März 17 bis Mai 1. 1876.



Figur 24.

trifft. Bei weiterer Verfolgung dieser interessanten Thatsache würde vielleicht darin ein Hülfsmittel zur Bestimmung des Alters der Tide gefunden werden und jedenfalls wird das Maass der täglichen Ungleichheit der Höhe des Hochwassers durch den gefundenen Unterschied modificirt.

§ 7. Einfluss der Entfernung und Declination der Sonne.

Durch die Stellung der Sonne zur Erde werden die verschiedenen Jahreszeiten hervorgerufen und an jedem Orte der Erde sind in jeder Jahreszeit bestimmte Windrichtungen vorherrschend. Die Winde bewirken je naeh ihrer Richtung und Stärke eine Erhöhung oder eine Senkung des Wasserspiegels und in jeder Jahreszeit werden sich deshalb ganz bestimmte Wasserstände einstellen. Untersucht man also die Höhen von Hoch- und Niedrigwasser in den verschiedenen Monaten des Jahres, so wird man zwar Unterschiede zwischen ihnen auffinden, aber man wird nicht wissen, ob diese unmittelbar durch die Stellung der Sonne oder mittelbar durch die Sonne, d. i. durch den Wind, veranlasst worden sind. Aus diesem Grunde bemühten sich Lubbock und Whewell vergeblich, aus den in London und Liverpool beobachteten Hochwasserhöhen den Einfluss der Entfernung und Declination der Sonne nachzuweisen, denn sie erhielten entweder gar keine oder nichtssagende Resultate, und man wird dieses Ziel nur erreichen, wenn man den Einfluss des Windes ganz beseitigt. Da die Höhen von Hoch- und Niedrigwasser durch den Wind im Allgemeinen gleichmässig beeinflusst werden müssen, so wird dies dadurch möglich sein, dass man die Untersuchungen auf die Aenderungen des Höhenunterschiedes zwischen Hoch- und Niedrigwasser, also auf die Aenderungen der Fluthgrösse beschränkt.

Aber auch bei dieser Beschränkung bleibt eine andere Schwierigkeit zu besiegen, welche daraus erwächst, dass die Wendepunkte in der Entfernung und in der Declination der Sonne fast auf dieselben Tage treffen. Wenn die Sonne sich in der Aequatorebene befindet, so hat sie fast genau ihre mittlere Entfernung, und ihre grösste südliche Declination fällt nahezu mit ihrer geringsten, ihre grösste nördliche Declination nahezu mit ihrer grössten Entfernung zusammen. Die Trennung der Wirkungen der Declination von denen der wechselnden Entfernung der Sonne werden dadurch erschwert und man muss sehr vorsichtig zu Werke gehen, um Beide von einander zu sondern.

Dagegen ist es als ein günstiger Umstand zu bezeichnen, dass die Sonne ihre Stellung zur Erde nur langsam verändert, denn dadurch wird es zulässig, die Monatsmittel der Fluthgrösse statt der Fluthgrösse der einzelnen Tiden zu benutzen, wobei nur darauf zu sehen ist, dass der Einfluss des Mondes die Richtigkeit der Resultate nicht beeinträchtigt.

Zu diesem Zwecke sind vieljährige Monatsmittel der Fluthgrösse erforderlich, und da mir diese nur für Cuxhaven zu Gebote stehen, muss ich mich auf die Untersuchung der in diesem Hafen beobachteten Tiden beschränken.

Vergleicht man nun z. B. für zwei dreizehnjährige Zeiträume die Fluthgrössen mit einander, indem man die Monate paarweise zusammenfasst, so dass für alle Paare der Einfluss der Sonne als gleichmässig betrachtet werden darf:

Mittlere Fluthgrössen in Cuxhaven.

Jahre	Januar und Juli	Februar und August	März und Septbr;	April und October	Mai und Novbr.	Juni und Decbr.	Mittel der 13 Jahre
1843 bis 1855	2,829 m	2,835 m	2,847 m	2,854 m	2,846 m	2,831 m	2,840 m
1856 bis 1868	2,779 m	2,786 m	2,773 m	2,784 m	2,785 m	2,779 m	2,781 m
Unterschied	0,050 m	0,049 m	0,074 m	0,070 m	0,061 m	0,052 m	0,059 m

dann findet man die Fluthgrössen für alle Monatspaare in jedem der beiden dreizehnjährigen Zeiträume einander fast völlig gleich, in den beiden verschiedenen Zeiträumen aber stets von einander abweichend und zwar durchschnittlich um 0,059 m. Die Ursache dieser Abweichungen ist die Mondesdeclination, welche in den ersten dreizehn Jahren geringer war als in den zweiten dreizehn Jahren und man kann ähnliche Abweichungen auch aus einer grösseren Anzahl von Jahren ableiten, wenn man sie nach dem Betrage der Mondesdeclination zusammenstellt. Theilt man die Fluthgrössen der dreiunddreissig Jahre 1843 bis 1875 in zwei Gruppen, von denen die erste die Jahre umfasst, in denen die stärkste Mondesdeclination dreiundzwanzig Grad nicht überstieg, die andere Gruppe

diejenigen Jahre, in denen die stärkste Mondesdeclination über dreiundzwanzig Grad betrug, so erhält man in der ersten Gruppe siebenzehn Jahre mit einer mittleren Fluthgrösse von 2,83 m und in der zweiten Gruppe sechszehn Jahre mit einer mittleren Fluthgrösse von nur 2,79 m; da der Unterschied in der mittleren Mondesdeclination etwa vier Grad betragen haben wird, so stimmt der Unterschied in der Fluthgrösse von 0,04 m mit den Seite 66 erhaltenen Zahlen annähernd überein.

Vergleicht man in derselben Weise die Fluthgrössen neunzehnjähriger Zeiträume, für welche die durchschnittliche Mondesdeclination sehr nahe die mittlere von funfzehn Grad ist:

Mittlere Fluthgrössen in Cuxhaven.

Jahre.	Januar und Juli	Februar und August	März und Septbr.	April und October	Mai und Novbr.	Juni und Decbr.	Mittel der 19 Jahre
1843 bis 1861	2,808 m	2,811 m	2,816 m	2,828 m	2,816 m	2,812 m	2,815 m
1857 bis 1875	2,792 m	2,788 m	2,780 m	2,789 m	2,792 m	2,792 m	2,789 m
Unterschied	0,016 m	0,023 m	0,036 m	0,039 m	0,024 m	0,020 m	0,026 m

so findet man immer noch Abweichungen zwischen den beiden Perioden, aber diese Abweichungen — theilweise durch Beobachtungsfehler theilweise durch Wind und theilweise vielleicht durch Veränderungen im Strombette veranlasst — betragen im Mittel nur 0,026 m und sind so unbedeutend, dass die mittlere Fluthgrösse dieser beiden neunzehnjährigen Perioden gewiss ohne merklichen Fehler als die wirkliche mittlere Fluthgrösse Cuxhaven's betrachtet werden darf. Die Feststellung dieser Thatsache ist für die folgende Untersuchung von Wichtigkeit.

Ueberblickt man die mittleren Fluthgrössen der einzelnen Monate, wie sie sich im Durchschnitte der beiden neunzehnjährigen Perioden ergeben und nebst ihren Abweichungen vom Jahresmittel umstehend aufgeführt sind, so sieht man, dass die Fluthgrösse im April 2,914 m beträgt, dass sie allmählig bis zum November um 0,219 m abnimmt, um dann wieder ebenso allmählig zu wachsen. Diese merkwürdige, aber zweifellos gesetzliche Schwankung der

Monatsmittel der Fluthgrösse in Cuxhaven.

Im Durchschnitt der Jahre 1843 bis 1861 und 1857 bis 1875 nebst ihren Abweichungen vom Mittel aller Monate.

Monat	Fluthgrösse	Abweichung
Januar	2,745 m	— 0,057 m
Februar	2,800 m	— 0,002 m
März	2,856 m	+ 0,054 m
April	2,914 m	+ 0,112 m
Mai	2,913 m	+ 0,111 m
Juni	2,898 m	+ 0,096 m
Juli	2,855 m	+ 0,053 m
August	2,798 m	— 0,004 m
September	2,741 m	— 0,061 m
October	2,703 m	— 0,099 m
November	2,695 m	— 0,107 m
December	2,705 m	— 0,097 m
Jahresmittel	2,802 m	0

Fluthgrösse kann nichtdurch den Mond bewirkt sein, da dessen Entfernung und Declination in allen Monaten dieselbe ist; sie muss also von der Sonne herrühren, erregt aber deshalb Erstaunen, weil die Wendepunkte in der Declination und Entfernung der Sonne nicht auf April und November fallen, sondern Ende Juni und Ende December eintreten. Bildet man, um die Ursachen der Abweichungen der Fluthgrösse feststellen zu können, für jeden der zwölf Monate eine Gleichung, welche auf der einen Seite das Maass der Abweichung der Fluthgrösse und auf der anderen Seite die Declination und die Abweichung der Entfernung der Sonne von ihrer mittleren Entfernung enthält, so bekommt man zwölf Gleichungen, und kann aus je zweien von ihnen die unbekannten Grössen, d. i. die Wirkung der Declination und der Entfernung der Sonne entwickeln. Aus diesen zwölf Gleichungen ergiebt sich auf diese Weise, dass die Fluthgrösse für jede Secunde der Zu- oder Abnahme des Sonnenhalbmessers um 0,0224 m zu- oder abnimmt, dass sie sich für jeden

Grad südlicher Sonnendeclination um 0,0193 m verkleinert und dass sie für jeden Grad nördlicher Declination um ebensoviel wächst. Dabei ist aber die Declination nicht vom Aequator, sondern von demjenigen Breitengrad — nämlich 0,29 Grad nördlich — zu zählen, von dem die Sonne ebensolange im Jahre südlich wie nördlich steht. Die daraus sich ergebenden Resultate sind nachstehend für die einzelnen Monate tabellarisch zusammengestellt. In den beiden ersten Spalten stehen die Declination der Sonne und die Abweichung ihres Halbmessers vom mittleren Halbmesser in Secunden; in den beiden folgenden Spalten ist die nach den eben angeführten Zahlen sich ergebende Zu- oder Abnahme der Fluthgrösse je nach dem

Monat	Der Sonne		Für		Summe	Differenz mit den Abweichungen der Fluthgrösse
	Declination von 0,29 ° N	Abweichung vom mittleren Halbmesser in Secunden	jedenGrad Declination ± 0,0193 m	jede Secunde Abweichung ± 0,0224 m		
Januar	— 21,04 °	+ 15,6″	— 0,406 m	+ 0,349 m	— 0,057 m	0
Februar	— 12,98 °	+ 11,5″	— 0,251 m	+ 0,258 m	+ 0,007 m	+ 0,009 m
März	— 1,93 °	+ 4,3″	— 0,037 m	+ 0,096 m	+ 0,059 m	+ 0,005 m
April	+ 9,76 °	— 3,9″	+ 0,188 m	— 0,087 m	+ 0,101 m	— 0,011 m
Mai	+ 18,72 °	— 11,0″	+ 0,361 m	— 0,246 m	+ 0,115 m	+ 0,004 m
Juni	+ 22,81 °	— 15,2″	+ 0,440 m	— 0,340 m	+ 0,100 m	+ 0,004 m
Juli	+ 20,76 °	— 15,4″	+ 0,401 m	— 0,345 m	+ 0,056 m	+ 0,003 m
August	+ 13,14 °	— 11,5″	+ 0,254 m	— 0,258 m	— 0,004 m	0
September ..	+ 2,29 °	— 4,6″	+ 0,044 m	— 0,103 m	— 0,059 m	+ 0,002 m
October	— 9,31 °	+ 3,6″	— 0,180 m	+ 0,080 m	— 0,100 m	— 0,001 m
November ...	— 18,86 °	+ 11,1″	— 0,364 m	+ 0,249 m	— 0,115 m	— 0,008 m
December ...	— 23,34 °	+ 15,5″	— 0,450 m	+ 0,347 m	— 0,103 m	— 0,006 m

Betrage der Declination und Entfernung der Sonne angegeben, und die fünfte Spalte enthält die Summe dieser Wirkungen. Die letzte Spalte giebt die Differenz zwischen diesen Summen, d. i. den berechneten Abweichungen, und den wirklich beobachteten Ab-

weichungen der Fluthgrösse. Diese Differenzen sind ausserordentlich klein, denn sie betragen in keinem Monate über 0,011 m, durchschnittlich aber nur 0,0044 m, und ihre Geringfügigkeit ergiebt sich aus Figur 23, in der die beobachteten Abweichungen der Fluthgrösse durch eine voll ausgezogene, die berechneten Abweichungen durch eine gestrichelte Linie verbunden sind. Die Uebereinstimmung zwischen beiden Linien ist so gross, dass die Ursachen der Schwankung der Fluthgrösse als nachgewiesen betrachtet werden dürfen, wodurch dann eine ungemein überraschende Abweichung von der Theorie constatirt ist. Nach der Theorie schwankt die Sonnenwelle mit der Entfernung der Sonne um ein Zwanzigstel ihrer mittleren Grösse nach jeder Seite, aber in Cuxhaven erreicht dieses Maass 0,35 m oder fast genau so viel, wie die mittlere Sonnenfluthgrösse selbst, denn diese glaubten wir nach Maassgabe der Spring- und Taubenfluthgrösse zu 0,38 m annehmen zu dürfen. Nach der Theorie verändert die Sonnenwelle sich gleichmässig bei südlicher und nördlicher Declination der Sonne, aber hier finden wir sie am Kleinsten bei dem südlichsten Stande der Sonne und sehen sie stetig zunehmen, bis die Sonne ihren nördlichsten Stand erreicht hat, so dass der Unterschied in der Sonnenfluthgrösse bei dem südlichsten und dem nördlichsten Stande der Sonne fast 0,9 m beträgt.

Nach zehntausend Jahren, wenn die Tage der Sonnennähe mit ihrer nördlichsten, wie jetzt mit ihrer südlichsten Declination zusammenfallen, dann wird man Gelegenheit haben, die Richtigkeit unserer Erklärung zu prüfen, denn dann muss die Fluthgrösse im Wintersolstitium sieben Zehntel Meter kleiner, im Sommersolstitium ebensoviel grösser sein als jetzt.

Aber ganz abgesehen von der Richtigkeit oder Unrichtigkeit der Erklärung, wie kann die Sonne überhaupt die Fluthgrösse so merklich verändern? Die Mondfluthgrösse allein ist in Cuxhaven 2,728 m, die Sonnenfluthgrösse 0,378 m, und Beide zusammen bringen eine mittlere Fluthgrösse von nicht mehr als 2,802 m hervor. Die Theorie liefert ein ähnliches Resultat, denn die mittlere theoretische Fluthgrösse auf dem Aequator beträgt nur 0,575 m (s. Figur 5), die Mondfluthgrösse allein 0,548 m, so dass die Sonnenfluth trotz ihrer Grösse von 0,247 m fast ohne Einfluss auf die mittlere Fluthgrösse bleibt. Welchen Veränderungen muss also die Sonnenfluth in Cuxhaven unterworfen sein, wenn sie ungeachtet ihres geringen

Einflusses doch die mittlere Fluthgrösse im Laufe des Jahres um 0,219 m verändern kann?

Der nächste Paragraph wird einen Beitrag zur Beantwortung dieser Frage liefern, freilich nicht ohne uns neue und grössere Schwierigkeiten aufzudecken. —

§ 8. Sonnentide und Mondtide.

Bis vor wenigen Jahrzehnten begnügte man sich gewöhnlich mit der Beobachtung der Höhen und Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser, und verwandte auf die übrigen Theile der Fluthcurve nur bei besonderen Gelegenheiten seine Aufmerksamkeit. An vielen Orten war es üblich, sich die nächtlichen Beobachtungen ganz zu ersparen, und in England wurden meistentheils die Niedrigwasser völlig ausser Acht gelassen, weil wegen der dort meistens bedeutenden Fluthgrösse, die Interessen der Schifffahrt hauptsächlich die Bekanntschaft mit den Höhen und Eintrittszeiten des Hochwassers forderten. Auch für alle sonstigen praktischen Zwecke schien die Kenntniss der Hoch- und Niedrigwasser vollkommen ausreichend, und man war durchaus befriedigt, wenn man ihre Höhen und Eintrittszeiten im Voraus berechnen und zum allgemeinen Gebrauche des Publikums in den Tidetafeln veröffentlichen konnte. Dabei kam die Wissenschaft schlecht weg, denn eine vollständige Kenntniss der Fluthwelle war aus so lückenhaften Beobachtungen nicht zu erwerben. Glücklicherweise hat sich in dieser Beziehung allmählig ein vollständiger Umschwung vollzogen, denn in den letzten dreissig Jahren sind an vielen Küstenpunkten registrirende Fluthmesser aufgestellt und die von ihnen Tag und Nacht unausgesetzt aufgezeichneten Wasserstände befähigen uns, die Fluthcurven in ihrem ganzen Verlaufe und in allen ihren Wandlungen zu verfolgen und zu studiren.

Sir William Thomson, der berühmte Physiker in Glasgow, war der Erste, welcher die grosse Menge des durch die registrirenden Fluthmesser gewonnenen Beobachtungsmaterials zu verwerthen begann. Als Vorsitzender eines auf seine Anregung von der British Association for the advancement of Science gebildeten Comites liess er viele Jahrgänge von Wasserstandsbeobachtungen aus verschiedenen Theilen der Erde zergliedern und die Resultate dieser umfangreichen und mühevollen Arbeiten sind in den Berichten der

Gesellschaft abgedruckt. Leider lassen sich diese Resultate nicht ohne Weiteres wiedergeben und obgleich ich gelegentlich noch einige derselben anführen werde, muss ich mich doch im Allgemeinen darauf beschränken, mit Benutzung der von Sir William Thomson angegebenen Methode, der Methode der harmonischen Analyse (7), ähnliche Resultate aus den Cuxhavener Beobachtungen, soweit ihre Spärlichkeit dies überhaupt gestattet, zu entwickeln.

In Cuxhaven ist — in Ermangelung eines registrirenden Fluthmessers, für den bei den kleinlichen Verhältnissen dieses Hafens kaum ein geeigneter Platz ausfindig gemacht werden könnte — der Wasserstand zu zwei verschiedenen Malen während einer Reihe von Wochen viertelstündlich und kurz vor und nach Hoch- und Niedrigwasser von fünf zu fünf Minuten beobachtet worden. Die Beobachtungen fanden statt im Herbste 1866 und im Frühjahr 1876, und aus jedem dieser beiden Zeiträume wählte ich sechsundachtzig auf einander folgende Tiden, welche $44^1/_2$ Tage, also einige Stunden über anderthalb synodische Monate, umfassen. Nachdem die Fluthcurven für sämmtliche Tiden aufgezeichnet waren, um die Wasserstände für jeden beliebigen Augenblick aus der Zeichnung entnehmen zu können, wurden für jede der beiden Perioden drei Tabellen gebildet, die erste zur Ermittelung der Sonnenfluthcurven, die beiden anderen zur Ermittelung der Mondfluthcurven oberer und unterer Culmination. Die erste Tabelle enthielt für jede halbe Stunde des Tages eine Spalte und in diese Spalten wurden für jeden Tag die halbstündlich beobachteten Wasserstände eingetragen, indem der um Mitternacht, nach wahrer Zeit, beobachtete Wasserstand die erste Spalte einnahm. Die zweite und dritte Tabelle hatten jede sechsundzwanzig Spalten und in die erste Spalte wurde der im Augenblicke der oberen, bez. unteren Mondesculmination beobachtete Wasserstand eingetragen; diese beiden Tabellen erstreckten sich über zwölf und eine halbe Stunde, um nicht weniger als einen halben Mondestag zu umfassen. Durch Summirung aller Spalten einer Tabelle, und durch Division der Summe durch die Anzahl der Reihen sind die mittleren Sonnen- und Mondfluthcurven oberer und unterer Culmination gefunden, wobei natürlich die Voraussetzung zu Grunde liegt, dass sowohl die vom Monde erregten Wellen sich gleichmässig über die Sonnentage, wie dass die von der Sonne erregten Wellen sich gleichmässig über die Mondtage vertheilen. Strenge richtig kann diese Voraussetzung wegen der verhält-

nissmässig geringen Dauer der fraglichen Zeiträume nicht sein, aber auch nicht so unrichtig, dass sie den Werth der Resultate wesentlich beeinträchtigen könnte. Die Fluthcurven oberer und unterer Culmination wichen weder für die Sonne noch für den Mond nennenswerth von einander ab und konnten deshalb zusammengezogen werden, wodurch für jede Periode die Sonnenfluthcurve ein Mittelwerth aus neunundachtzig halben Tagen, die Mondfluthcurve ein Mittelwerth aus sechsundachtzig vollen Tiden wurde. Die auf diese Weise gefundenen Fluthcurven sind für die Periode im Frühjahre 1876 in Figur 24 aufgezeichnet. Die vom Herbste 1876 sind ähnlich, aber nicht gleich, wie aus der folgenden Zusammenstellung (8) hervorgeht.

Cuxhaven		Herbst 1866. August 29. 6h p.m. bis Octbr. 13. 6h a. m.	Frühjahr 1876. März 17. 6h p. m. bis Mai 1. 6h a. m.	Unterschied
Sonnenfluthgrösse		0,749 m	0,966 m	+ 0,217 m
Eintritts-zeit	Sonnenhochwasser	2h —′	2h —′	0
	Sonnenniedrigwasser	8h —′	8h —′	0
Mondfluthgrösse		2,545 m	2,780 m	+ 0,235 m
Eintritts-zeit	Mondhochwasser	0h 5′	— 0h 15′	— 0h 20′
	Mondniedrigwasser	6h 55′	6h 35′	— 0h 20′
Mondesdeclination		12 Grad	19 Grad	7 Grad

Betrachten wir zuerst die Sonnenfluthcurve, dann die Mondfluthcurve und zuletzt Beide nebeneinander.

Die Sonnenfluthcurve ist in beiden Perioden ausserordentlich regelmässig und fast vollkommen symmetrisch zur Linie des mittleren Wasserstandes. Das Hochwasser trifft beidemal genau um zwei Uhr ein, das Niedrigwasser beidemal um acht Uhr und die Linie des mittleren Wasserstandes wird von der Curve gerade um fünf und um elf Uhr geschnitten. Die Dauer der Sonnentide

ist folglich zwölf Stunden, wovon sechs Stunden auf die Fluth und sechs auf die Ebbe entfallen. Die Sonnenfluthgrösse ist in den beiden Perioden verschieden und zwar nahezu um dasselbe Maass, welches sich aus den Untersuchungen des vorigen Paragraphen ergab. Wir finden nämlich aus Figur 23 die mittlere Fluthgrösse für den 8. April und 20. September, d. i. für die Tage, welche auf die Mitte der beiden Perioden treffen, gleich 2,901 m und 2,734 m, woraus sich der Unterschied zu 0,167 m bestimmt, während wir ihn hier gleich 0,217 m finden. Die beiden, auf so verschiedenen Wegen ermittelten Unterschiede weichen nur um 0,05 m von einander ab, und diese Abweichung erklärt sich vielleicht vollständig durch die Unregelmässigkeiten der Mondfluthcurven der beiden Perioden, welche ihrerseits wahrscheinlich durch die verschiedene Mondesdeclination veranlasst sind.

Die Mondfluthcurven der beiden Perioden zeigen nämlich ebenfalls Unterschiede in der Fluthgrösse, welche mit denen in der Sonnenfluthgrösse parallel gehen. Im Frühjahre 1876 war die Mondfluthgrösse 0,235 m grösser als im Herbste 1866 und ebenfalls waren die Eintrittszeiten um zwanzig Minuten verschoben; nach den in § 6 gefundenen Regeln hätte die Fluthgrösse etwa 0,06 m kleiner sein müssen und die Verschiebung der Eintrittszeiten hätte nur sechs Minuten betragen dürfen. Im Uebrigen haben die Mondfluthcurven durchaus die Form der Cuxhavener Fluthcurve, und auch die Fluth- und Ebbedauer der Mondtide von 5^h 35′, bez. 6^h 50′, stimmt mit der mittleren Fluth- und Ebbedauer Cuxhavens so nahe wie möglich überein.

Betrachtet man die Sonnen- und Mondfluthcurven zugleich, so ist der Unterschied in der Eintrittszeit ihrer Hochwasser — den wir im nächsten Paragraphen betrachten wollen — ebenso auffallend wie das Verhältniss ihrer Fluthgrössen zu einander. Die Sonnenfluthgrösse ist viel beträchtlicher, als wir bisher glaubten, während die Mondfluth die früher ermittelte Grösse annähernd beibehält. Dadurch wird das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth ein ganz anderes, nämlich aus der Periode im Herbste 1866 = 1 : 3,4 und aus der Periode im Frühjahr 1876 = 1 : 2,88; durchschnittlich also = 1 : 3,1. Auch an anderen Küstenpunkten sind die auf dem einen und dem anderen Wege gefundenen Resultate mehr oder weniger von einander abweichend. Sir William Thomson

fand durch die harmonische Analyse für nachstehende Häfen die beigeschriebenen Verhältnisse:

Fernandina (Fort Clinch) in Florida	1 : 6,0
Ramsgate, England	1 : 3,4
Brest, Frankreich.	1 : 2,6
Liverpool, England	1 : 3,2
Portland Breakwater, England . .	1 : 1,9
West-Hartlepool, England. . . .	1 : 2,9
Cat-Island, vor der Küste von Florida	1 : 1,8

und ein Vergleich mit den Seite 58 aus den Spring- und Taubefluthgrössen abgeleiteten Verhältnissen zeigt alle nur denkbaren Variationen; während in Brest und Nordamerika beide Wege zu demselben Resultate führen, ergeben sie für die anderen Orte, bald grössere, bald geringere Unterschiede, und bei Portland Breakwater und Cat-Island ist die Sonnenfluth selbst grösser als sie der Theorie nach sein sollte. Fast scheint es, als wenn es sogar eine Stelle am Atlantischen Ocean gäbe, an der die Sonnenfluth thatsächlich grösser ist als die Mondfluth, denn nach den gelehrten Untersuchungen des englischen Astronomen Airy ist bei Courtown, an der Ostküste Irlands, die Zahl der Tiden in vierzehn Tagen um Eins grösser als an allen übrigen Küstenpunkten Europas.

Im Allgemeinen finden wir durch die Zerlegung der Fluthcurven die Sonnenfluth grösser, als wir sie nach der halbmonatlichen Ungleichheit der Höhe erwarten konnten. Dadurch schwindet aber die Möglichkeit, die halbmonatlichen Ungleichheiten aus den durch die Zerlegung gefundenen Sonnen- und Mondfluthcurven zu construiren. Setzen wir die in Cuxhaven aus der Frühjahrsperiode des Jahres 1876 gefundenen Sonnen- und Mondfluthcurven für die Culminationszeiten 2, 5, 8 und 11 Uhr des Mondes zusammen, so erhalten wir — wie aus Figur 25 ersichtlich — keineswegs mit den in der Natur beobachteten übereinstimmende Fluthcurven. Die dadurch sich ergebenden Spring- und Taubefluthgrössen von 3,75 m bez. 1,85 m sind zwar in den Frühjahrsaequinoctien annähernd, nämlich mit 3,70 m bez. 2,17 m, vorgekommen, allein durchschnittlich sind die Springfluthgrössen in der Natur viel kleiner, die Taubefluthgrössen grösser gewesen. Noch deutlicher folgt dies aus Figur 26. In dieser sind die halbmonatlichen Ungleichheiten der Höhe und der Zeit, auf den letzten Monddurchgang vor Hochwasser bezogen, für die sechsundachtzig Tiden der Periode des

Frühjahrs 1876 dreimal angegeben: in vollen Linien aus Sonnen- und Mondfluthcurve construirt, in gestrichelten Linien aus den Beobachtungen unmittelbar abgeleitet und in punktirten Linien nach den in den vorigen Paragraphen für die Bestimmung der einzelnen Tiden entwickelten Regeln berechnet. Man sieht daraus, dass die construirten halbmonatlichen Ungleichheiten von den beobachteten, sowie auch dass diese ebenfalls von den berechneten abweichen. Die construirte Springfluthgrösse übertrifft die beobachtete um etwa 0,30 m, während die construirte Taubefluthgrösse um 0,60 m unter der beobachteten bleibt. Ebenso beträchtliche Abweichungen finden sich zwischen den construirten und den beobachteten Hafenzeiten, denn z. B. der grösste Unterschied zwischen den Hafenzeiten des Niedrigwassers beträgt nach der Construction kaum mehr als eine Stunde, nach den Beobachtungen dagegen volle drittehalb Stunden. Weniger auffallend sind die Abweichungen der berechneten von den beobachteten halbmonatlichen Ungleichheiten, aber doch viel zu gross, um als zufällige bezeichnet werden zu dürfen; die Curven der berechneten halbmonatlichen Ungleichheiten sind durchgehends flacher als die beobachteten und die Eintrittszeiten der Hochwasser sind sämmtlich zu spät und zwar durchschnittlich um zwölf Minuten zu spät berechnet.

Sämmtliche Abweichungen beweisen, dass die Zusammensetzung der Sonnen- und Mondwelle zu einer einzigen Welle in der Natur nicht in der Weise erfolgt, wie wir nach Anleitung der Theorie bisher annehmen zu müssen glaubten. Die beiden Wellen scheinen sich gegenseitig zu modificiren, und zwar in verschiedener Art, je nachdem ihre gleichnamigen oder ihre ungleichnamigen Theile zusammentreffen, oder, mit anderen Worten, je nach dem Unterschiede in der Culminationszeit von Sonne und Mond. Der nächste Gedanke ist freilich, die wechselnde Declination und Entfernung des Mondes müsse die wesentlichste Ursache der soeben aufgedeckten Abweichungen sein, aber man wird sich durch die folgende Untersuchung überzeugen, dass dies nicht der Fall sein kann.

Die Sonnenfluthcurve zeigt in den beiden anderthalbmonatlichen Perioden dieselbe regelmässige Form und dieselben Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser. Diese Regelmässigkeit findet man, wie ich durch Versuche ermittelt habe, ebenfalls für kürzere Perioden und man kann deshalb wohl annehmen, dass die Sonnenfluthcurve

überhaupt geringeren und namentlich langsameren Schwankungen unterworfen ist als die viel veränderlichere Mondfluthcurve. Zieht man also von irgend welchen, während der beiden Perioden beobachteten Fluthcurven die Sonnenfluthcurve der betreffenden Periode ab, so erhält man die Mondfluthcurven allein und ist dadurch in den Stand gesetzt, sie für beliebige einzelne Tiden untersuchen zu können. Die Fluthcurve jeder einzelnen Tide ist aber durch die tägliche Ungleicheit, durch den Wind u. s. w. in einer sie von allen anderen Fluthcurven unterscheidenden Weise beeinflusst, und um diese gewissermaassen zufälligen Einflüsse zu beseitigen, schlug ich folgenden Weg ein. Aus jeder der beiden Perioden sonderte ich die Tiden paarweise — jedes Paar, behufs Beseitigung der täglichen Ungleichheit, aus einer Tide oberer und einer Tide unterer Culmination zusammensetzend — nach Declination, Parallaxe und Culminationszeit des Mondes, so dass für die einzelnen Tiden jedes Paares, bez. Doppelpaares, diese drei Elemente der Mondstellung durchaus gleich waren. Aus jedem Fluthcurvenpaare, bez. Doppelpaare, nahm ich das arithmetische Mittel, subtrahirte davon die Sonnenfluthcurve der betreffenden Periode, und reducirte die übrigbleibende Mondfluthcurve auf ihren mittleren Wasserstand. Dadurch erhielt ich neunundfunfzig Mondfluthcurven, deren Fluthgrösse 2,15 bis 3,62 m betrug, und die auch in der Form und in den Hoch- und Niedrigwasserzeiten sehr verschieden waren. Um die Ursache ihrer Verschiedenheiten festzustellen, ordnete ich sie nach der Declination und nach der Parallaxe des Mondes; aber vergeblich, denn die Hauptunterschiede, namentlich in der Fluthgrösse, schienen nicht davon, sondern von der Culminationszeit des Mondes abzuhängen. Ordnet man sie nach dieser:

Zeit der Mondesculmination.....	2 Uhr	5 Uhr	8 Uhr	11 Uhr
Zahl der Mondfluthcurven	15	12	16	16
Mittlere Mondfluthgrösse	2,47 m	2,80 m	3,14 m	2,66 m

so findet man die Mondfluthgrösse stetig wachsend von den Springfluthen bis zu den Taubenfluthen, von 2,47 bis 3,14 m. Allerdings

ist es möglich, dass ein Theil des 0,67 m betragenden Unterschiedes durch den Einfluss der Entfernung und Declination des Mondes bewirkt worden ist, aber dieser Einfluss kann nicht von Bedeutung sein. Um jedoch auch ihn zu beseitigen, suchte ich von den Mondfluthcurven zehn aus, welche durchschnittlich zur Mondesculminationszeit 0^h 43′ gehörten und für die die Mondentfernung und Declination durchschnittlich die mittlere war; letztere mit Berücksichtigung des Vorzeichens gleich Null, ohne Berücksichtigung desselben annähernd gleich funfzehn Grad. Ferner dreizehn andere Mondfluthcurven, welche durchschnittlich zur Mondesculminationszeit 8^h 38′ gehörten und die in Bezug auf Entfernung und Declination des Mondes denselben Bedingungen entsprachen wie jene Zehn. Für diese beiden Gruppen von dreizehn und zehn Mondfluthcurven waren also alle Umstände dieselben, ausgenommen, die Mondesculminationszeit und doch zeigen ihre Mittelwerthe die aus Figur 27 ersichtlichen Abweichungen von einander.

Die Mondfluthcurve der Tide, welche eintritt, wenn der Mond um 0^h 43′ culminirt, hat zwei und zwanzig Minuten nach der Mondesculmination Hochwasser und 7^h 32′ nach demselben Zeitpunkte Niedrigwasser; das Hochwasser steigt 1,11 m über den mittleren Wasserstand und das Niedrigwasser bleibt 1,31 m darunter. Die Mondfluthcurve der Tide, welche eintritt, wenn der Mond um 8^h 38′ culminirt, hat Hochwasser achtzehn Minuten vor der Mondesculmination und Niedrigwasser 6^h 27′ nach derselben; das Hochwasser steigt 1,50 m über den mittleren Wasserstand und das Niedrigwasser bleibt 1,54 m darunter. Die beiden Mondfluthcurven, welche zwar bei verschiedenem Mondesalter, aber sonst unter völlig gleichen Umständen entstanden sind, weichen also nicht nur in der Form von einander ab, sondern auch in den Eintrittszeiten bis zu mehr als einer Stunde, in der Fluthgrösse um 0,62 m. — Fügt man diesen Curven die vorhin abgezogene Sonnentide wieder hinzu, so erhält man — wie die gestrichelten Linien in Figur 27 beweisen — Fluthcurven, welche sich von den unmittelbar aus der Beobachtung hervorgegangenen nicht wesentlich unterscheiden.

Ebensowohl, wie wir die Sonnenfluthcurve als unveränderlich annahmen und dadurch die Veränderungen der Mondfluthcurve fanden, hätten wir, wenn auch wahrscheinlich mit minderem Rechte, die Mondfluthcurve als unveränderlich annehmen können und würden dann die Sonnenfluthcurve mit dem Mondesalter veränderlich ge-

funden haben. Das Resultat würde aber dasselbe gewesen sein, denn immer hätte sich herausgestellt, dass die durch Sonne und Mond erzeugten Fluthwellen Veränderungen unterworfen sind, welche durch die Stellung der Gestirne nicht unmittelbar bewirkt sein können. Die Fluthwelle, welche unsere Küsten berührt und in unsere Häfen einläuft, wird zwar durch die Wirkung von Sonne und Mond hervorgebracht, aber auf dem Wege von ihrem, vielleicht mit den Jahreszeiten und der Mondstellung wechselnden, Erzeugungsorte wird sie mannigfach beeinflusst und umgewandelt, so dass wir in ihr das Produkt theils der Wirkungen der Gestirne, theils terrestrischer Einflüsse erkennen müssen. Es ist nicht denkbar, dass z. B. auf dem kurzen Wege von Helgoland bis Cuxhaven die Fluthwelle noch besonders durch die Stellung von Sonne und Mond modificirt wird, und doch finden wir an diesen beiden Orten Fluthcurven, Fluthgrössen und die halbmonatlichen Ungleichheiten (siehe Figur 15 und Figur 18) völlig von einander verschieden. Wir dürfen deshalb nicht hoffen, durch die Zerlegung der Fluthcurven jemals ihre astronomischen Bestandtheile — wenn dieser Ausdruck erlaubt ist — von ihren terrestrischen trennen zu können, aber wohl ist es möglich, durch Benutzung längerer Beobachtungsreihen — welche mindestens ein volles Jahr umfassen müssen — die Wandlungen ihrer Form für jegliche Stellung von Sonne und Mond festzustellen.

Die Veränderungen, denen die Fluthwellen im Laufe des Jahres unterworfen sind, erklären auch die Ungenauigkeiten der Berechnung, welche wir soeben Gelegenheit hatten nachzuweisen. Nicht nur die Grösse der Sonnen- und Mondwellen ändert sich mit den Monaten, sondern auch ihr Verhältniss zu einander. Dadurch muss aber auch ihre Wirkung auf einander sich ändern, d. h. die Höhen und Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser, verglichen mit der Mondesculminationszeit, müssen im Laufe des Jahres veränderlich sein. Die zur Berechnung des Hoch- und Niedrigwassers gegebenen Regeln sind deshalb zweifellos noch sehr der Verbesserung bedürftig.

§ 9. Das Alter der Tide.

Die von Laplace aufgestellte und von Lubbock weiter ausgebildete Hypothese über das Alter der Tide führte, wie schon erwähnt wurde, nicht zu befriedigenden Resultaten. Nach dieser

Hypothese sollte das Alter der Tide, d. h. der Zeitraum, welcher zwischen der Entstehung der Fluthwelle und ihrer Ankunft an unseren Küsten verläuft, gleich der Verspätung der Springtiden sein, also gleich dem Zeitraume von den Syzygien bis zum Eintritte der Springtiden. Durch die im vorigen Paragraphen vorgenommene Zerlegung der Cuxhavener Fluthcurve haben wir aber das merkwürdige Resultat erhalten, dass diese Verspätung der Springtiden einzig und allein durch die Verspätung der Sonnenwelle veranlasst wird. Das Hochwasser der Sonnenwelle trifft in Cuxhaven Tag für Tag um zwei Uhr ein, also zwei Stunden nach der Culmination der Sonne, das Hochwasser der Mondwelle ist aber in Cuxhaven, im Durchschnitt der beiden untersuchten anderthalbmonatlichen Perioden, fünf Minuten vor der Mondesculmination, so dass in den Syzygien die Sonnenwelle $2^h\ 5'$ nach der Mondwelle anlangt. Die Springtide tritt also erst ein, wenn der Mond $2^h\ 5'$ nach der Sonne culminirt, was durchschnittlich drittehalb Tage nach den Syzygien der Fall ist. Sir William Thomson bestimmte durch die harmonische Analyse für verschied ene Küstenpunkte des Atlantischen Oceans die Verspätung der Springtide, und nachstehend sind seine Resultate, zusammen mit der Verspätung der täglichen Ungleichheit des Hochwassers und den Sonnen- und Mondfluthgrössen angeführt.

Ort	Beobachtungszeit	Fluthgrösse der Sonnenwelle	Fluthgrösse der Mondwelle	Verspätung der Springtide	Verspätung der täglichen Ungleichheit des Hochwassers
Cat-Island	1848	$0'\ 1^1/_2''$	$0'\ 2^3/_4''$	$0^d\ 12^h\ 51'$	$0^d\ 6^h$
Fernandina	1860—1861 ein Jahr	$0\ 11^1/_2''$	$5'\ 8''$	$1^d\ 6^h\ 30'$	$-\ 0^d\ 17^h$
Brest	1875	$5'\ 1^1/_4''$	$13'\ ^1/_2''$	$1^d\ 13^h\ 3'$	$4^d\ 2^h$
West-Hartlepool	1858—1861 drei Jahre	$3'\ 5^3/_4''$	$10'\ 1''$	$1^d\ 17^h\ 44'$	$5^d\ 19^h$
Liverpool	1857-60,66-70 sieben Jahre	$6'\ 3^3/_4''$	$20'\ ^3/_4''$	$1^d\ 20^h\ 24'$	$5^d\ 19^h$
Portland Breakwater	1851,57,66,70 vier Jahre	$2'\ 1^3/_4''$	$4'\ 1^1/_2''$	$2^d\ 0^h\ 1'$	$4^d\ 22^h$
Ramsgate	1864	$3'\ 9''$	$12'\ 7^1/_2''$	$2^d\ 4^h\ 24'$	$6^d\ 17^h$
Cuxhaven.....	1866—67 89 Tage	0,86 m	2,66 m	$2^d\ 14^h\ 30'$	7^d

Die Orte sind nach dem Maasse der Verspätung der Springtiden geordnet, aber vergeblich wird man nach einem erkennbaren Zusammenhange zwischen diesem Maasse und der Lage der Orte suchen. Z. B. bei Portland Breakwater tritt das Hochwasser, nach den Hafenzeiten und den Cotidal-lines Whewell's zu urtheilen, drei Stunden später als in Brest ein; in Liverpool aber fast acht Stunden später, und doch verspätet sich die Springtide bei Portland Breakwater mehr als bei Liverpool. Ebensowenig ist ein Zusammenhang mit der Verspätung der täglichen Ungleichheit zu entdecken und wir können Nichts weiter thun, als die, durch die Verspätung der Sonnenwelle veranlasste Verspätung der Springtiden als eine bis jetzt unerklärte Thatsache hinnehmen. Es sind zwar bereits Hypothesen aufgestellt, welche die Verspätung der Sonnenwelle erklären sollen, da aber in anderen Meeren, wie hier vorweg bemerkt werden mag, die Sonnenwelle auch gleichzeitig mit der Mondwelle und selbst früher als diese eintrifft, so scheinen diese Hypothesen vorläufig noch keine Gültigkeit beanspruchen zu können.

Ueber das Alter der Tide wissen wir also Nichts. Die Laplace'sche Hypothese und die darauf gebauten Schlüsse Lubbock's müssen als völlig unhaltbar verworfen werden.

B. Tiden in der Ostsee.

Die Tiden in der Ostsee sind nirgends bedeutend und an der deutschen Küste werden sie der Regel nach durch die Wirkungen des Windes auf den Wasserspiegel verdeckt.

Bei Skagen, an der Nordspitze Jütland's, ist die mittlere Fluthgrösse 0,28 ^{m} und von hier an der Küste südlich gehend, findet man sie bei Frederikshaven und Hals 0,31 ^{m}, bei Aarhuus 0,38 ^{m}. Von Aarhuus hinüber nach Helsingör vermindert sie sich und beträgt bei Rörvig, am Isefiord auf Seeland, 0,25 ^{m}, bei Helsingör selbst nur 0,06 ^{m}. Von Aarhuus südlich wächst sie und erreicht sowohl an der Süd- wie an der Nordspitze von Fünen 0,47 ^{m}, bei Nykiöbing auf Falster sogar 0,62 ^{m}.

An der deutschen Küste sind die Fluthgrössen so unbedeutend, dass es Hagen's gründlicher Untersuchungen bedurfte, um überhaupt

die Existenz einer Fluthwelle nachweisen zu können. Hagen fand die folgenden Fluthgrössen und Hafenzeiten, letztere mit dem Zeichen — vor, mit dem Zeichen + nach der Mondesculmination zu verstehen.

Ort	Fluthgrösse		Hafenzeit	
	Springtide	Taubetide	Springtide	Taubetide
Travemünde	0,11 m	0,09 m	—	—
Thiessow auf Rügen	0,07 m	0,02 m	— 1h 53′	— 0h 12′
Swinemünde	0,03 m	0,02 m	— 1h 35′	+ 0h 20′
Colbergermünde	0,02 m	0,03 m	— 1h 17′	+ 0h 52′
Rügenwaldermünde	0,02 m	0,01 m	— 1h 1′	+ 1h 21′
Neufahrwasser	0,02 m	0,01 m	—	—
Pillau	0,02 m	0,01 m	+ 0h 13′	+ 3h 46′
Memel	0,01 m	0,01 m	+ 0h 50′	+ 4h 46′

Bei Travemünde zeigte, nach speciellen Untersuchungen, die vierte Tide nach den Syzygien durchschnittlich die bedeutendste Fluthgrösse und zwar meistentheils 0,23 bis 0,26 m.

Die Hafenzeiten verspäten sich im Allgemeinen von Westen nach Osten, aber in Neufahrwasser tritt Hochwasser später ein als in Pillau und mit Ausschluss der Taubentiden sogar später als in Memel; auch in Wismar ist Hochwasser eine Stunde früher als in Travemünde. — Die Genauigkeit der Hafenzeiten lässt sich, wie Hagen ausführt, nur auf zweiunddreissig bis neunundvierzig Minuten verbürgen, allein sie lassen doch die interessante Thatsache erkennen, dass die Schwankungen der halbmonatlichen Ungleichheit der Zeit in der Ostsee viel grösser sind als im Atlantischen Ocean; sie betragen nämlich 101 bis 236 Minuten und nehmen von Westen nach Osten fortwährend zu.

Auch die Bestimmung der Fluthgrössen macht auf grosse Genauigkeit keinen Anspruch und habe ich deshalb die Angaben auf volle Centimeter abgerundet. Die überwiegende Fluthgrösse der Taubentide bei Colbergermünde ist vermuthlich nur durch Ungenauigkeiten veranlasst und deshalb ohne Bedeutung.

C. Tiden im Mittelländischen Meere.

Die Fluthgrösse der Tiden des Mittelländischen Meeres ist grösstentheils unbedeutend und geringer an der nördlichen als an der südlichen Küste desselben. In der Nähe der Strasse von Gibraltar, in Ceuta, Tetuan und Malaga, beträgt die durchschnittliche Fluthgrösse zwei Fuss oder etwas mehr; an der französischen Küste wohl nirgends über einen Fuss. Die Springfluthgrösse wird für Tunis zu drei Fuss angegeben, für Tripoli zu zwei Fuss, für Jaffa in Syrien zu anderthalb Fuss und am bedeutendsten für Djerba an der afrikanischen Küste, nämlich zu sieben Fuss.

Die während des Jahres 1853 in Toulon angestellten Wasserstandsbeobachtungen sind von Sir William Thomson mittelst der harmonischen Analyse untersucht, wodurch sich folgende bemerkenswerthe Resultate ergaben:

Sonnenfluthgrösse	$0'\ 2\frac{1}{4}''$
Mondfluthgrösse	$0'\ 4\frac{1}{2}''$
Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth .	1 : 2,1
Eintritt der Springtiden $4^h\ 42'$ vor den Syzygien	
Verspätung der täglichen Ungleichheit $2^d\ 19^h$.	

In Toulon ist demnach die bisher an keinem andern Orte der Erde beobachtete Thatsache constatirt, dass die Springtiden vor den Syzygien eintreten, eine Thatsache, die allein hinreichen würde, um die Tiden des Mittelmeeres strenge von denen des Atlantischen Oceans zu scheiden.

Die Tiden des Adriatischen Meeres, welche wir mit Hülfe der darüber veröffentlichten Beobachtungen (9) eingehender untersuchen wollen, zeigen noch weitere characteristische Unterschiede von den Tiden des Atlantischen Oceans und eignen sich deshalb ganz besonders, um unsere Anschauung von den Flutherscheinungen im Allgemeinen zu erweitern.

Aus den Beobachtungen des Jahres 1869 folgen nachstehende Hafenzeiten und Fluthgrössen für die beigeschriebenen Orte:

Ort	Hafenzeit	Mittlere Fluthgrösse
Corfu	4h 10′	0,21 Wiener Fuss
Lesina	4h 33′	0,60 Pariser Fuss
Zara	7h 46′	0,45 Wiener Fuss
Fiume	8h 41′	0,74 „ „
Triest	9h 29′	1,89 „ „

Die Fluthgrösse am Eingange des Adriatischen Meeres, bei Corfu, beträgt nur einen fünftel Fuss, steigt aber bis Triest allmählig auf beinahe zwei Fuss. Die Hafenzeiten verspäten sich in derselben Richtung, aber auf der grösseren Strecke von Corfu bis Lesina beträgt die Verspätung nur dreiundzwanzig Minuten, und fast vier Stunden auf der kürzeren Strecke von Lesina bis Triest.

Für vier der genannten Beobachtungsorte habe ich die halbmonatliche Ungleichheit der Zeit, sowie auch die Sonnen- und Mondfluthcurven bestimmt, wodurch sich die folgenden Zahlen ergaben.

Ort	Grösster Unterschied in den Hafenzeiten	Fluthgrösse der		Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth
		Sonnentide	Mondtide	
Corfu	123 Minuten	0,105 Fuss	0,196 Fuss	1 : 1,87
Lesina	164 „	0,336 „	0,512 „	1 : 1,52
Fiume	148 „	0,372 „	0,669 „	1 : 1,80
Triest	155 „	0,996 „	1,715 „	1 : 1,72

Die Schwankungen in den Hafenzeiten sind an allen Orten sehr gross und dem entsprechend stellt sich auch die Sonnenfluthgrösse, mit dem theoretischen Verhältnisse verglichen, sehr gross

heraus, so dass die Mondfluth nirgends die doppelte Grösse der Sonnenfluth erreicht. Andere Eigenthümlichkeiten, die sich an allen vier Orten übereinstimmend fanden, sollen an dem Beispiele Triest's hervorgehoben werden. Auf der linken Hälfte der Figur 28 sind die Sonnen- und Mondfluthcurven für Triest aufgezeichnet und man sieht daraus, dass das Sonnenhochwasser gleichzeitig mit dem Mondeshochwasser eintrifft, oder sogar noch etwas früher, dass also im Adriatischen Meere, ebenso wie bei Toulon, eine Verspätung der Springtiden nicht stattfindet. Aus diesen beiden Fluthcurven habe ich, gerade so wie in Figur 25 für Cuxhaven, die Fluthcurven für verschiedene Stunden der Mondesculmination zusammengetragen und für die Stunden 0, 2, 4 und 6 der Mondesculmination auf die rechte Hälfte von Figur 28 gezeichnet. Die daraus sich ergebenden Hochwasserzeiten sind durch kleine Kreise und beigeschriebene Zahlen gleichfalls in der Figur angedeutet. Auf diese Weise erhielten wir für Cuxhaven Fluthcurven und Hochwasserzeiten, welche die grössten Abweichungen von den beobachteten zeigten; vergleicht man aber für Triest die construirten mit den beobachteten Fluthcurven und Hochwasserzeiten, so findet man — wie aus der beispielsweise für sechs Uhr in punktirter Linie eingezeichneten, aus den Beobachtungen hervorgegangenen Fluthcurve zu ersehen — eine fast vollkommene Uebereinstimmung. Die Uebereinstimmung ist so gross, dass die Abweichungen an keiner Stelle irgend einer der Curven einen Zehntel Fuss erreichen, meistentheils aber sehr weit darunter bleiben. Die folgende Uebersicht beweist, dass selbst die construirte halbmonatliche Ungleichheit der Fluthgrösse nur einmal um mehr als ein Zehntel Fuss von der beobachteten abweicht, und, was wichtiger ist, sie beweist eine gleiche Uebereinstimmung zwischen den construirten und den beobachteten Hafenzeiten des Hochwassers. Die Curve der halbmonatlichen Ungleichheit der Zeit des Hochwassers zeichnet sich demgemäss vor allen anderen bisher besprochenen dadurch aus, dass ihre Schnittpunkte mit der mittleren Hafenzeit genau auf die Culminationszeiten zwölf und sechs Uhr treffen, oder, mit anderen Worten, auch in den Hafenzeiten ist keine Verspätung der Spring- und Taubentiden zu entdecken und in dieser Beziehung findet sich im Adriatischen Meere eine Harmonie zwischen Theorie und Natur, die wir im Atlantischen Oceane überall vermissen mussten. Weshalb aber nur

Triest 1869.

Stunde der Mondes-culmination	Halbmonatliche Ungleichheiten der Hafenzeit u. Fluthgrösse					
	Hafenzeiten des Hochwassers		Differenz in Minuten	Fluthgrösse		Differenz in Fuss
	Construirt	Beobachtet		Construirt	Beobachtet	
0h	9h 29′	9h 29′	0	2,71′	2,66′	— 0,05′
1h	9h 0′	9h 3′	+ 3	2,65′	2,72′	+ 0,07′
2h	8h 45′	8h 48′	+ 3	2,36′	2,41′	+ 0,05′
3h	8h 25′	8h 22′	— 3	1,95′	2,00′	+ 0,05′
4h	8h 18′	8h 7′	— 11	1,47′	1,46′	— 0,01′
5h	8h 18′	8h 25′	+ 7	0,96′	1,09′	+ 0,13′
6h	9h 36′	9h 38′	+ 2	0,74′	0,69′	— 0,05′
7h	10h 43′	10h 27′	— 16	1,05′	0,97′	— 0,08′
8h	10h 40′	10h 42′	+ 2	1,54′	1,53′	— 0,01′
9h	10h 31′	10h 37′	+ 6	2,02′	1,98′	— 0,04′
10h	10h 13′	10h 13′	0	2,47′	2,45′	— 0,02′
11h	9h 50′	9h 46′	— 4	2,66′	2,70′	+ 0,04′
Mittel . . .	9h 29′	9h 28′	— 1	1,88′	1,89′	+ 0,01′

im Adriatischen Meere? Eine Frage, auf die wir die Antwort schuldig bleiben müssen.

Die wunderbaren Eigenthümlichkeiten der Tiden des Adriatischen Meeres gestatten uns — was im Atlantischen Ocean unmöglich war — das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth unmittelbar aus der Spring- und Taubenfluthgrösse wie auch aus der Schwankung der Hafenzeiten zu bestimmen. Es war die beobachtete

Springfluthgrösse in Triest = 2,69 Fuss
Taubefluthgrösse » » = 0,69 »

woraus wir unmittelbar finden die

Sonnenfluthgrösse . . . . . = 1,00 Fuss
Mondfluthgrösse . . . . . = 1,69 »

und das Verhältniss Beider zu einander = 1 : 1,69.

Diese Zahlen differiren um eine Kleinigkeit von den auf Seite 98 durch die harmonische Analyse entwickelten, aber zum Theil mag dies durch Ungenauigkeiten der Beobachtung veranlasst sein, zum Theil aber jedenfalls durch den Umstand, dass nicht sämmtliche Tiden des Jahres zur Gewinnung der Mittelzahlen benutzt werden konnten. Von den 705 Tiden des Jahres sind neunzehn Tiden ausgefallen und selbstverständlich musste dieser Ausfall die Richtigkeit der Resultate beeinträchtigen.

Angesichts der überraschenden Regelmässigkeit, welche wir in den Tiden des Adriatischen Meeres nachgewiesen haben, sollte man erwarten, dass auch die Fluthcurven einzelner Tage sich in einfachster Form darstellen würden. Dies ist indessen keineswegs der Fall, wie schon aus den Fluthcurven Triest's (Figur 29), welche sich auf beliebige Springtiden des Jahres 1875 beziehen, geschlossen werden kann. Am 19. Februar war starker O.-N.-O.-Wind, wodurch sich die ungewöhnliche Form der Fluthcurve dieses Tages erklärt; am 12. December hatte der Mond starke nördliche Declination und entsprechend ist eine tägliche Ungleichheit von ein bis zwei Fuss in den Höhen und von etwa einer Stunde in den Zeiten zu erkennen; am 15. September und 14. October aber war der Wind sehr schwach und der Mond stand nahe im Aequator, jedoch auch an diesen beiden Tagen, namentlich am zweiten, sind die Fluthcurven keine stetigen Wellenlinien. Die Fluthcurven von Fiume machen in noch höherem Maasse den Eindruck der Willkür, denn hier ist die tägliche Ungleichheit so stark, dass dadurch häufig Eintagstiden hervorgebracht werden, welche nur durch das während der langdauernden Fluth zeitweilig langsamere Steigen des Wassers verrathen, dass sie aus zwei einzelnen Tiden zusammengesetzt sind. In dieser Erscheinung zeigt sich jedoch ebenfalls eine seltene Uebereinstimmung mit der Theorie: eine Verspätung der Wirkung der Mondesdeclination ist durchaus nicht vorhanden, und das höhere Hochwasser folgt bei nördlicher Declination des Mondes seiner oberen, bei südlicher Declination seiner unteren Culmination. Um so überraschender ist es, dass auch in Fiume die Sonne keine tägliche Ungleichheit in den Tiden erzeugt, wie ich daraus schliesse, dass die tägliche Ungleicheit, sowohl der Höhe wie der Zeit, bei südlicher Declination der Sonne genau ebenso stark ist, wie bei nördlicher.

Die Tiden des Adriatischen Meeres und des Atlantischen Oceans bilden also in jeder Beziehung Gegensätze: jene sind in ihrer äusseren Erscheinung verwickelt, aber ihrem inneren Wesen nach von theoretischer Regelmässigkeit; diese gleichen im Ansehen den so einfachen theoretischen Aequatorialtiden, ihre Zusammensetzung ist aber von einer geradezu verwirrenden Unregelmässigkeit.

D. Tiden im Michigan See.

Die alte Hypothese von dem fernen Entstehungsort unserer Fluthwelle setzte stillschweigend voraus, der Atlantische Ocean sei zu klein, um selbst eine merkliche Fluthwelle hervorbringen zu können. Wenn es noch erforderlich ist, diese Hypothese zu widerlegen, so hat man nur nöthig darauf hinzuweisen, dass selbst der Michigan See eine eigene Fluthwelle besitzt, und bei einer Breite von funfzig Meilen hat der Michigan See nur eine Länge von 290 Meilen, so dass seine grösste Ausdehnung mit der Entfernung von der Westspitze Rügens bis Memel übereinstimmt.

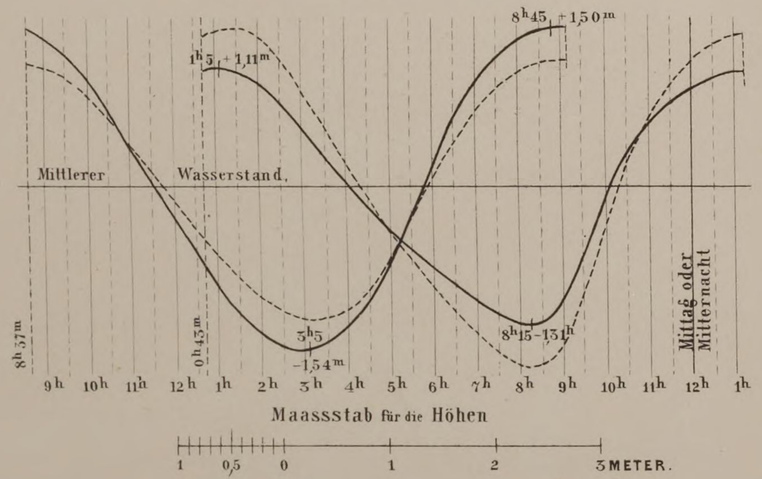
Die Wasserstände des Michigan Sees werden seit einer Reihe von Jahren in Milwaukee und Chicago, die Beide am Westufer des Sees und siebenzig Meilen von einander liegen, mit registrirenden Fluthmessern beobachtet. Figur 30 enthält die Fluthcurven (10), welche sich durch Anwendung der Methode der harmonischen Analyse für Milwaukee ergeben. Die gestrichelte Linie im oberen Theile der Figur ist die aus 1062 Tagen für alle vierundzwanzig Stunden des Tages gefundene Sonnenfluthcurve, die voll ausgezogene Linie, die aus 148 Tagen für die vierundzwanzig Mondstunden, (die in senkrechten gestrichelten Linien angedeutet sind) des Mondtages gefundene Mondfluthcurve. Man findet daraus die Sonnenfluthgrösse = 0,036 Fuss, Mondfluthgrösse = 0,079 Fuss und das Verhältniss der ersten zur zweiten = 1 : 2,19.

Die Eintrittszeit sowohl des Sonnen- wie des Mondeshochwassers ist ungefähr ein Uhr. Im unteren Theile der Figur ist in voller Linie die Springfluthcurve, welche aus 120 Tagen oder — da zwei Tage vor und nach den Syzygien auch als Springfluthen gerechnet wurden — aus 24 Syzygien gefunden ist, angegeben; in gestrichelter Linie die Taubefluthcurve, welche aus 115 Tagen

Figur 27.

CUXHAVEN.

Mondfluthcurven {getrennt von / vereinigt mit} der Sonnenfluthcurve.



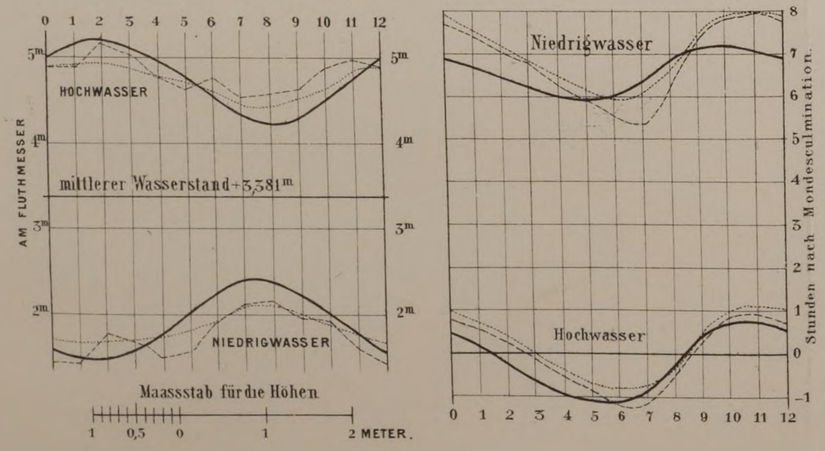
CUXHAVEN. März 17 bis Mai 1. 1876

Figur 26.

HALBMONATLICHE UNGLEICHHEIT

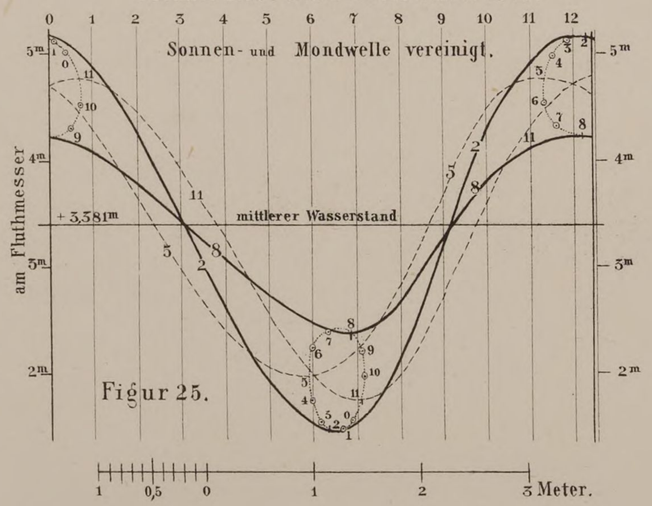
der HÖHE. der ZEIT.

Aus Sonnen und Mondwelle Unmittelbar aus den Beobachtungen nach den Regeln berechnet;



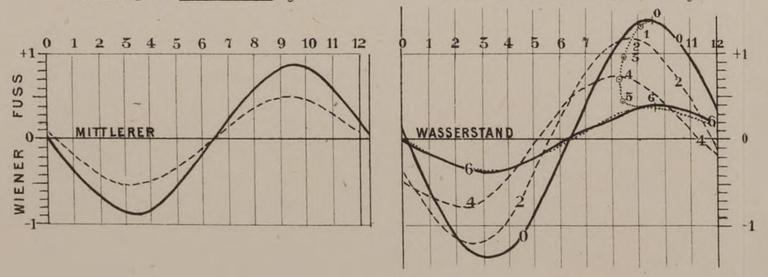
Wilh. Fenck, Lith. Anstalt, Hamburg.

CUXHAVEN. März 17 bis Mai 1. 1876.



Figur 28.

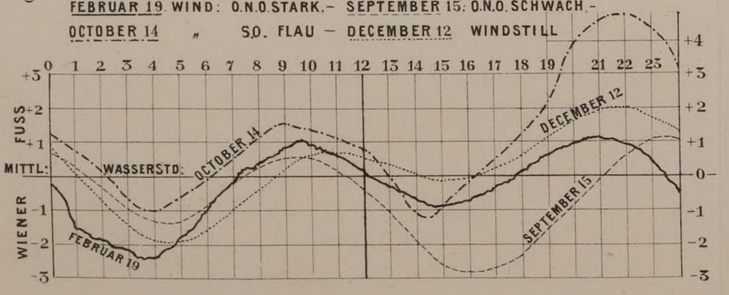
TRIEST 1869



Figur 29.

TRIEST FLUTHCURVEN von SPRINGTIDEN 1875

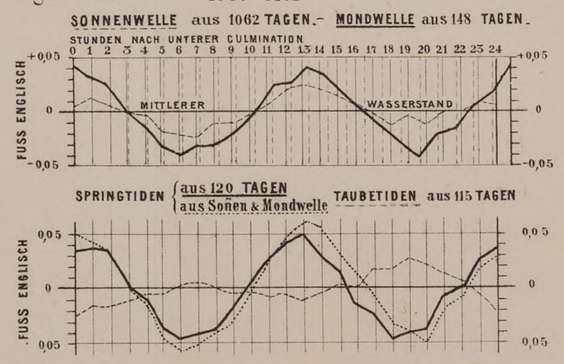
FEBRUAR 19. WIND: O.N.O. STARK. – SEPTEMBER 15. O.N.O. SCHWACH. –
OCTOBER 14 „ SO. FLAU – DECEMBER 12 WINDSTILL



Figur 30.

MILWAUKEE AM MICHIGAN-SEE.

1867-1871

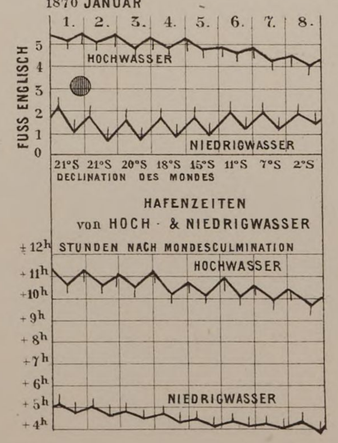


Figur 31.

SABINE-INSEL.

74° 32' N.BR. 18° 49' W. von Greenwich

HÖHEN von HOCH & NIEDRIGWASSER



HAFENZEITEN

von HOCH- & NIEDRIGWASSER

oder 23 Quadraturen gefunden ist. Die punktirte Linie giebt die durch Summirung der Sonnen- und Mondfluthcurve bestimmte Springfluthcurve. Die beiden unmittelbar aus den Beobachtungen abgeleiteten Curven ergeben die

Springfluthgrösse = 0,087 Fuss,
Taubefluthgrösse = 0,034 Fuss.

Aus der Sonnen- und Mondfluth bestimmen sich diese Werthe zu 0,115 und 0,043 Fuss, also mit den vorigen genau genug übereinstimmend.

Sämmtliche Fluthcurven der Zeichnung zeigen keinen ganz stetigen Verlauf, aber bei der ausserordentlich geringen Fluthgrösse, die selbst in Springtiden kaum den zehnten Theil eines Fusses erreicht, machen sich schon Unterschiede von weniger als ein Hundertstel Fuss in der Zeichnung bemerkbar, Unterschiede, die unter gewöhnlichen Verhältnissen ganz und gar unbeachtet bleiben würden. Indess sind trotz dieser kleinen Unregelmässigkeiten die gesetzlichen Wellenlinien nicht zu verkennen und merkwürdigerweise finden wir das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth hier fast genau mit dem theoretischen Verhältnisse übereinstimmend. Auffallend verschieden sind die beiden Hoch- und Niedrigwasserhöhen desselben Tages in den Taubenfluthen. Der täglichen Ungleichheit sind dieselben nicht zuzuschreiben, sondern sie erklären sich durch die regelmässige Seebrise, welche namentlich im Sommer Nachmittags einzusetzen und den Wasserspiegel zu erhöhen pflegt. Man fand durch specielle, für diesen Zweck angestellte Untersuchungen, dass im Juli und August die Nachmittagstide durchschnittlich 33 Tausendstel Fuss, im April und November — Monate, in denen die Brise weniger merklich ist — nur 10 Tausendstel Fuss höher war als die Morgentide.

In Chicago treten die Tiden stärker auf als in Milwaukee. Man fand dort die

Springfluthgrösse = 0,24 Fuss,
Taubefluthgrösse = 0,12 Fuss.

Das Hochwasser in Chicago tritt eine halbe Stunde früher ein als in Milwaukee.

E. Tiden anderer Meere.

Die Meere, deren Tiden wir bisher untersucht haben, sind mehr oder weniger abgeschlossen und demgemäss stellt sich auch der Character ihrer Tiden im Grossen und Ganzen als ein einheitlicher heraus. Verlassen wir aber das heimische Becken des Atlantischen Oceans und die Binnenmeere, so gelangen wir auf die unermesslichen Wasserflächen der übrigen Oceane, welche, kaum gegen einander abgegrenzt, sich rings um die ganze Erde erstrecken. Diese Meere sind, im Verhältnisse zu ihrer ungeheuren Ausdehnung in Bezug auf die Tiden wenig durchforscht und es bleibt uns nur übrig einzelne Tideformen derselben, gewissermassen als Beispiele anzuführen und zu beschreiben.

Im nördlichen Eismeere schon, obgleich dasselbe zum Theil nur eine Fortsetzung des Atlantischen Oceans bildet, treffen wir Tiden, die sich von denen des letzteren wesentlich unterscheiden. Figur 31 zeigt die Höhen und Hafenzeiten von der Sabine-Insel, an der Ostküste Grönlands, welche von Kapitain Koldewey auf der zweiten deutschen Nordpolfahrt beobachtet wurden. Im Ganzen erstreckten sich seine Beobachtungen über sieben Monate, woraus sich ergab die mittlere Springfluthgrösse = 4,21 Fuss, Taubefluthgrösse = 1,86 Fuss und daraus das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth = 1 : 2,6. Die Verspätung der Springtiden betrug $1\,^1/_4$ Tag, die tägliche Ungleichheit in der Höhe des Niedrigwassers und in der Zeit des Hochwassers springt um gleichzeitig mit dem Durchgange des Mondes durch die Aequatorebene, die tägliche Ungleichheit in der Höhe des Hochwassers und in der Zeit des Niedrigwassers anderthalb Tage später. Aus der Figur sieht man, dass auch nach dem Betrage der täglichen Ungleichheit die Paare in derselben Ordnung zusammengehören, und dass dem höheren Hochwasser das höhere Niedrigwasser, also letzterem das niedrigere Hochwasser folgt. — Die höheren Hoch- und Niedrigwasser sind die späteren und die tägliche Ungleichheit weicht mithin in jeder Beziehung von der im Atlantischen Ocean beobachteten ab. In Port Leopold, welches auf gleicher Breite mit der Sabine-Insel und 91 Grad westlich von Greenwich liegt, ist die Reihenfolge der höheren und niedrigeren Hoch- und Niedrigwasser dieselbe wie bei der Sabine-Insel, aber der Höhenunterschied zwischen zwei einander

folgenden Hochwassern ist grösser als derjenige zwischen zwei einander folgenden Niedrigwassern.

Die Tiden im nördlichen Theile des Grossen Oceans zeichnen sich aus durch ausserordentlich mannigfaltige tägliche Ungleichheiten. Den Typus der Tiden an der Westküste der Vereinigten Staaten, also von dreiunddreissig bis neunundvierzig Grad der Breite, veranschaulichen die Tiden von Astoria in Figur 32. Die täglichen Ungleichheiten sind hier sämmtlich stark vertreten, namentlich in den Niedrigwasserhöhen und in den Hochwasserzeiten. Diese beiden Ungleichheiten springen um zwei Tage nachdem der Mond den Aequator passirt hat, die andern beiden gleichzeitig mit dem Durchgange des Mondes durch die Aequatorebene. Ich bemerke noch, dass die Höhen und Eintrittszeiten nicht beobachtet sind, sondern nach den vortrefflichen Tidetafeln der Nordamerikaner aufgetragen.

Auffallender sind die täglichen Ungleichheiten in Novo-Archangelsk, im russischen Amerika auf 57 Grad Breite gelegen. Aus Figur 33 ist ersichtlich, dass dort der Höhenunterschied zweier einander folgenden Niedrigwasser über vier Fuss betragen kann. Die täglichen Ungleichheiten in den Hochwasserhöhen und in den Niedrigwasserzeiten springen um zwei Tage vor, in den Niedrigwasserhöhen und in den Hochwasserzeiten zwei Tage nach dem Durchgange des Mondes durch die Aequatorebene.

Fast auf demselben Breitengrade wie Novo-Archangelsk, aber an der entgegengesetzten Küste des Grossen Oceans liegt Petropaulofsk auf Kamtschatka. An diesem Orte treten die täglichen Ungleichheiten in der überraschendsten Form auf. Im October 1827 ist, wie wir aus Figur 34 sehen, eine sehr starke tägliche Ungleichheit in den Niedrigwasserhöhen und in den Hochwasserzeiten; beide Ungleichheiten setzen gleichzeitig um und zwar einen Tag bevor der Mond die Aequatorebene schneidet. In den Hochwasserhöhen und in den Niedrigwasserzeiten ist keine tägliche Ungleichheit zu entdecken, denn die in diesen vorkommenden Unregelmässigkeiten scheinen durchaus dem Zufalle zugeschrieben werden zu müssen. Im Juni 1828 dagegen, wie Figur 35 zeigt, sind nicht nur die täglichen Ungleichheiten in den Niedrigwasserhöhen und in den Hochwasserzeiten in ganz ähnlicher Weise wieder vorhanden, sondern auch fast ebenso starke in den Hochwasserhöhen und in den Niedrigwasserzeiten, welche gerade dann am stärksten sind,

wenn jene Beiden verschwinden. Diese Thatsache, dass zwei tägliche Ungleichheiten umspringen, wenn die Beiden andern am stärksten sind, widerspricht zwar schnurstraks der Theorie, aber auf der anderen Seite ist in dem Umstande, dass zwei tägliche Ungleichheiten zu einer gewissen Jahreszeit gänzlich fehlen, eine Art von Uebereinstimmung mit der Theorie ausgesprochen, wie wir sie in dem Grade noch nirgends beobachten konnten. Die schematische Darstellung der theoretischen Wirkung der Declination der Gestirne, welche wir in den Figuren 9 und 10 gegeben haben, macht ersichtlich, dass die täglichen Ungleichheiten in den Niedrigwasserhöhen und in den Hochwasserzeiten bei gewissen Mondesculminationsstunden während einer Reihe von Tagen verschwinden können und wenn wir annehmen, dass im October 1828 die stärksten Mondesdeclinationen gerade mit diesen bestimmten Culminationsstunden des Mondes zusammenfielen, so würden wir diesen theoretischen Fall in Petropaulofsk verwirklicht sehen. Andrerseits ist es aber auch möglich, dass die Declination der Sonne für Petropaulofsk entscheidend in's Gewicht fällt, denn dieselben täglichen Ungleichheiten, welche im October, bei geringer Declination der Sonne, nicht bemerkbar sind, sind stark hervortretend im Juni, bei starker Declination der Sonne. Längere Beobachtungsreihen würden zur Aufklärung dieser zweifelhaften Punkte nothwendig sein. — Noch in einer anderen Beziehung ist, nach Whewell's Untersuchungen, in Petropaulofsk eine auffallende Uebereinstimmung mit der Theorie vorhanden: Die Schwankung in den Hafenzeiten des Hochwassers beträgt, selbstverständlich abgesehen von den Wirkungen der täglichen Ungleichheit, gerade 106 Minuten, genau soviel wie sie nach dem theoretischen Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth betragen sollte. Wie regellos aber scheinbar die Tiden in Folge der täglichen Ungleichheit sich gestalten, geht aus den nebenstehenden Höhen und Eintrittszeiten der beiden letzten in Figur 35 dargestellten Tage hervor. Die Dauer der Ebbe ist am Nachmittage des 24. Juni $8^h\ 38'$ bei einer Fluthgrösse von $5'\ 1''$, am Morgen desselben Tages nur 2 Stunden, oder richtiger, die Ebbe reducirt sich auf einen zweistündigen Stillstand des Wassers, denn das niedrige Hochwasser und das hohe Niedrigwasser sind genau von gleicher Höhe. Am 24. Juni wird also eigentlich nur e i n e

Juni 1828	Eintritts-zeiten	Höhen	
		Hochwasser	Niedrigwasser
23. Morgens	2h 26′	3′ 11″	—
„ „	4h 32′	—	3′ 10″
„ „	10h 50′	4′ 11″	—
Nachmittags	7h 8′	—	0′ 5″
24. Morgens	3h 27′	4′ 4″	—
„ „	5h 27′	—	4′ 4″
„ „	11h 23′	4′ 11″	—
Nachmittags	8h 1′	—	— 0′ 2″

Tide bei Petropaulofsk beobachtet; ihre Dauer beträgt 24h 53′ und ihre Fluth ist durch eine zweistündige Unterbrechung des Steigens ausgezeichnet.

Verfolgt man von Kamtschatka die Küste des grossen Oceans nach Süden zu, so trifft man auf das ausgedehnte chinesische Reich, von denen mir aber keine Wasserstandsbeobachtungen bekannt sind. Unmittelbar an der südwestlichen Grenze China's, nämlich auf der Barre von Tungking bei Batsha (20° 50 N. Br., 110° O. von London), begegnen wir sehr merkwürdigen Tiden. Vor nunmehr zweihundert Jahren hielt sich der englische Capitain Davenport längere Zeit in Batsha auf und seine sorgfältige Beschreibung — die wir leider durch neuere nicht controlliren können — ist geeignet, uns auch ohne Zeichnungen eine Vorstellung von diesen höchst eigenthümlichen Tiden zu verschaffen.

Wenn der Mond senkrecht über dem Aequator steht, so sind auf der Barre von Tungking keine Veränderungen in der Höhe des Wasserstandes zu bemerken. Beginnt der Mond zu decliniren, so stellt Fluth und Ebbe sich ein, und die Tiden sind während dreizehn Tagen in ihrem Gange constant. Am ersten und zweiten Tage sind sie sehr klein und undeutlich, dann nimmt ihre Höhe täglich zu, bis zum Eintritte der Springtiden, welche am siebenten Tage am höchsten laufen. Von da an werden die Tiden wieder schwächer und schwächer, bis sie ganz verschwinden, wenn der Mond abermals die Aequatorebene erreicht hat. Dabei vollziehen sich eine Ebbe

und eine Fluth in einem Mondestage, und die Dauer sowohl der Ebbe wie der Fluth beträgt einen halben Mondestag. Jeden Tag, von ihrem Auftreten bis zu ihrem Verschwinden, treten Fluth und Ebbe ungefähr dreiviertel Stunden später ein, wechseln aber ihre Reihenfolge mit der wechselnden Declination des Mondes: Declinirt der Mond nördlich, so beginnt die Fluth mit seinem Aufgange, und es ist Hochwasser wenn er untergeht; declinirt der Mond südlich, so fluthet es die ganze Zeit, während der Mond unter dem Horizont steht, und Hochwasser tritt ein wenn er aufgeht. Dadurch entsteht »ein constantes Zurückfallen der Tide von nahe dreizehn Stunden an jedem zweiten Tage von des Wassers Alter und Wachsen, so dass am Ende von funfzehn Tagen eine Umkehrung ihrer Bewegung in Bezug auf den Anfang von Fluth und Ebbe erfolgt ist.«

Um sich diese Tiden im Bilde zu vergegenwärtigen, hat man nur nöthig, die theoretischen Aequinoctialtiden auf achtzig Grad nördlicher Breite in Figur 11 zu betrachten. Der Mond passirt dort die Aequatorebene zwischen dem 25. und 26. September und an diesen beiden Tagen sind die Tiden nur undeutlich. Am 27. September, bei nördlicher Mondesdeclination, beginnt das Wasser im Augenblicke der unteren Mondesculmination zu steigen, und es ist Hochwasser im Augenblicke seiner oberen Culmination. Bei südlicher Mondesdeclination, also vom 17. bis 24. September, trifft das Hochwasser mit der unteren, Niedrigwasser mit der oberen Mondesculmination zusammen, und dadurch wird das »constante Zurückfallen« der Tide veranlasst, denn Hochwasser tritt am 24. September um Mittag ein, am 27. September aber schon um Mitternacht. Alles, mit Ausnahme der Eintrittszeit des Hochwassers, ist genau so wie auf der Barre von Tungking, und nur ein wichtiger Unterschied besteht zwischen den theoretischen Tiden und den Tiden auf dieser Barre: bei den ersteren verändert sich der mittlere Wasserstand sehr auffällig mit der Mondesdeclination, bei den letzteren bleibt er constant, wie die folgenden Sätze Davenport's bestimmt aussprechen:

»Die Barre selbst ist ungefähr anderthalb miles lang und »nirgends, ausgenommen bei ihrem ersten Anfange, breiter als »eine halbe mile; sie ist sehr eben, giebt aber doch beträchtlich »verschiedene Lothungen in demselben Alter und derselben Zeit »der Tide, entsprechend der Jahreszeit, und — was befremdend

»scheint — die höchsten Tiden fallen in die Zeit des Nord-Monsuns, »wie mir Jene berichteten, die anscheinend am Besten davon Be»scheid wissen. Und ich muss bekennen, dass die jetzt von mir auf der »Barre angestellten Versuche mit dem übereinstimmen, was ich von »verschiedenen Fischerleuten und Anderen hörte, nämlich dass, wenn »man mit halber Fluth überkommt (ausgenommen an den vorbe»nannten, als dem Ueberkommen gefährlich bezeichneten Tagen*) »dort dem Alter der Tide entsprechend gefunden werden.

»Im 3., 4. und 5. Monat von 16 bis 21 Fuss Wasser
»Im 6., 7. » 8. » » 19 » 24 » »
»Im 9., 10. » 11. » » 21 » 27 » »
»Im 12., 1. » 2. » » 17 » 22 » »

»Immer je höher die Fluth, je niedriger die Ebbe, so dass die »Lothungen bei Niedrigwasser, der Stärke der Tiden entsprechend, »zwischen sechs und dreizehn Fuss sind.«

Aus diesen Angaben folgt nicht nur ein constanter mittlerer Wasserstand, sondern auch eine auffallende jährliche Periode in der Fluthgrösse. Wenn wir die im Obigen benutzten Monate der Eingeborenen — welche nach Davenport's Ausführungen etwas veränderlich sind, da abwechselnd zwölf und dreizehn derselben auf eins ihrer Jahre treffen — auf unsere Monate reduciren, so erhalten wir folgendes Schema für die Springtiden:

Jahreszeit	Tiefen auf der Barre bei		Fluthgrösse
	Niedrig-wasser	Hochwasser	
13. Januar—11. April	11½ Fuss	22 Fuss	10½ Fuss
11. April—8. Juli	13 „	21 „	8 „
8. Juli—5. October	9½ „	24 „	14½ „
5. October—1. Januar.....	6 „	27 „	21 „

Newton nahm zur Erklärung dieser Tiden an, dass sich auf der Barre von Tungking zwei Fluthwellen von gleicher Höhe derart begegnen, dass das Hochwasser der einen gerade mit dem Niedrigwasser der anderen zusammenfällt. Steht der Mond im Aequator,

*) Das sind diejenigen, an denen keine oder nur undeutliche Tiden stattfinden

so heben sich die Wellen vollständig auf und weder Fluth noch Ebbe ist zu bemerken. Declinirt der Mond, so werden die Wellen in Folge der täglichen Ungleichheit verschieden, und die Möglichkeit ist vorhanden, dass sich aus ihnen die beschriebenen Eintagstiden zusammensetzen. Laplace wiederholte später diese Hypothese, aber sie hat trotzdem wenig Werth, denn das was sie voraussetzt, ist ebenso wunderbar, wie das was sie erklären soll. Wie gross müssten die Fluthwellen selbst sein, um allein durch ihre Unterschiede Fluthgrössen von einundzwanzig Fuss hervorbringen zu können?

Von den übrigen Theilen der Küste des Grossen und von der Küste des Indischen Oceans sind ähnliche Tiden wie die von Tungking nicht bekannt. Wir finden vielmehr an ihnen nur die gewöhnlichen täglichen Ungleichheiten in allen nur denkbaren Variationen vertreten. In Singapore, 1^0 17′ nördlich vom Aequator gelegen, ist, wie Figur 36 zeigt, die tägliche Ungleichheit in den Niedrigwasserhöhen besonders hervortretend, so dass der Höhenunterschied zwischen den beiden Niedrigwassern eines Tages bisweilen sechs Fuss beträgt, obgleich die Springfluthgrösse im Durchschnitte nur sieben Fuss, die Taubefluthgrösse nur fünf Fuss misst. In der Figur bemerkt man das Umspringen der täglichen Ungleichheit im Niedrigwasser am 22. Mai, einen Tag nachdem der Mond die Aequatorebene passirte.

Wenn auch die bisher betrachteten Tiden aus dem nördlichen Eismeere und dem Grossen Oceane der äusseren Erscheinung nach Unterschiede von denen des Atlantischen Oceans darboten, so scheinen diese doch keineswegs wesentlich zu sein und auch die in der nachstehenden Tabelle angeführten Zahlen, welche von Sir William Thomson durch die harmonische Analyse gefunden sind, beweisen, dass das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth, die Verspätung der Springtiden und der täglichen Ungleichheit, sich ähnlich wie an unseren Küsten zeigen. Ungewöhnlich zeigt sich San Diego in Californien, weil dort die Tiden in den drei eben genannten Beziehungen fast vollkommen mit der Theorie übereinstimmen, aber eine besondere Bedeutung kann diese Uebereinstimmung wohl kaum beanspruchen, weil in dem nicht weit entfernten San Franzisco (Fort Point) schon wieder ganz andere Verhältnisse auftreten. Ausnahmen finden sich jedoch ebensowohl im

Ort	Kurrachee	Bombay	Fort Point Californien
Breite	24° 53′ N. Br.	18° 57′ N. Br.	37° 40′ N. Br.
Länge von Greenwich	67° 0′ O. v. Gr.	72° 54′ O. v. Gr.	122° 15′ W. v. Gr.
Zeit der Beobachtungen	1868—73 5 Jahre	1867 4 Monate	1858—61 3 Jahre
Sonnenfluthgrösse	1′ 10¼″	3′ 8½″	0′ 9¼″
Mondfluthgrösse	5′ ½″	8′ 8¾″	3′ 3½″
Sonnen- zur Mondesfluth	1 : 2,70	1 : 2,36	1 : 4,24
Verspätung der Springtide	1d 2h 24′	1d 1h 41′	0d 5h 8′
Verspätung der täglichen Ungleichheit	0d 9h	. . . .	0d 11h

Ort	San Diego Californien	Port Leopold Nördl. Eismeer	Beechey Island Nördl. Eismeer
Breite	32° 42′ N. Br.	74° N. Br.	74° 43′ N. Br.
Länge von Greenwich	117° 13′ W. v. Gr.	91° W. v. Gr.	91° 54′ W. v. Gr.
Zeit der Beobachtungen	1860—61 2 Jahre	1848—49 9 Monate	1858—59 119 Tage
Sonnenfluthgrösse	1′ 4¾″	1′ 3½″	1′ 4½″
Mondfluthgrösse	3′ 4½″	4′ 1¾″	3′ 10¼″
Sonnen- zur Mondesfluth	1 : 2,43	1 : 3,22	1 : 2,81
Verspätung der Springtide	0d 0h 43′	2d 1h 7′	1d 23h 2′
Verspätung der täglichen Ungleichheit	0d 4h	2d 9h	2d 7h

Grossen, wie im Atlantischen Ocean und einer der merkwürdigsten begegnen wir an einer Stelle, wo wir sie am wenigsten vermuthen sollten.

In Figur 37 sind die Fluthcurven von Motouta, einer der Inseln des Tahiti-Archipels, vom 10. bis 27. April 1840 dargestellt.

Diese Insel liegt 3500 Meilen vom nächsten Festlande entfernt, es sind hier also keinerlei störende Einflüsse anzunehmen und doch sind diese Tiden so ganz abweichend von dem, was wir regelmässig zu nennen gewohnt sind. Am 10. April, gleich nach dem ersten Viertel des Mondes, und an den folgenden Tagen, sehen wir an jedem Tage zwei deutlich ausgeprägte Tiden mit einer Fluthgrösse von etwa neun Zoll. Hochwasser tritt an diesen Tagen etwa um neun Uhr ein, Niedrigwasser um vier oder fünf Uhr. Die Eintrittszeiten verspäten sich von Tag zu Tag nur wenig und am 16. April, dem Tage des Vollmondes, fällt Hochwasser ungefähr auf Mittag und Mitternacht, Niedrigwasser tritt um etwa sieben Uhr ein; die Fluthgrösse ist entsprechend gewachsen und beträgt in den Springtiden, je nach der täglichen Ungleichheit, vierzehn bis siebenzehn Zoll. Mit abnehmenden Monde verspäten sich die Tiden wiederum sehr langsam; am 22. April, zwei Tage vor dem letzten Viertel, tritt Hochwasser ungefähr um drei Uhr ein und die Fluthgrösse hat sich bis auf vier Zoll vermindert. An den beiden folgenden Tagen sind nur unregelmässige Schwankungen des Wasserspiegels von wenigen Zollen zu bemerken, die dem Anscheine nach zum grössten Theile den Wirkungen der während der ganzen Beobachtungszeit unausgesetzt umlaufenden Winde zuzuschreiben sind. Am 25. April, am Tage nach dem letzten Viertel, erscheinen wieder regelmässige Tiden, welche, wie in den Tagen nach dem ersten Viertel, etwa um fünf Uhr Niedrig- und um zehn oder neun Uhr Hochwasser machen.

Man sieht ohne weitere Erklärung ein, dass diese Tiden nur dadurch zu Stande kommen können, dass die Sonnen- und Mondfluth einander völlig gleich sind und dies bestätigt sich durch die Zerlegung der Fluthcurven (11). Man findet durch die harmonische Analyse:

Tahiti	Hochwasser		Niedrigwasser		Fluthgrösse	Ebbedauer
	Zeit	Höhe	Zeit	Höhe		
Mondwelle	$0^h\ 36'$	$11{,}06''$	$7^h\ 24'$	$3{,}95''$	$7{,}11''$	$6^h\ 48'$
Sonnenwelle	$0^h\ 36'$	$11{,}22''$	$6^h\ 36'$	$3{,}95''$	$7{,}27''$	$6^h\ 0'$

Die Hoch- und Niedrigwasserhöhen sind auf den Nullpunkt der Zeichnung bezogen und bis auf einen Unterschied von 0,16 Zoll im Hochwasser, sind sie bei der Sonnen- und Mondtide einander völlig gleich. Beide Hochwasser treffen genau sechsunddreissig Minuten nach der Culmination ihres Gestirnes ein, so dass die Springtide bei gleichzeitiger Culmination von Sonne und Mond ebensolange nach Mittag oder Mitternacht Hochwasser machen muss. Die Niedrigwasser treffen aber nicht gleichzeitig ein, sondern das Mondesniedrigwasser achtundvierzig Minuten nach dem Sonnenniedrigwasser. Aus diesem Grunde können die beiden Wellen sich auch niemals vollständig aufheben und wenn man die beiden durch die Zerlegung erhaltenen Fluthcurven für die verschiedenen Stunden der Mondesculmination wieder zusammensetzt, so ergiebt sich, dass die aus ihnen resultirende Welle am kleinsten wird, wenn der Mond etwa um fünf Uhr culminirt; die Fluthgrösse derselben beträgt dann zwei Zoll und ihr Niedrigwasser tritt um acht Uhr, ihr Hochwasser um drei Uhr ein. Um fünf Uhr culminirte der Mond am 23. April Morgens, und man sieht aus der Zeichnung, dass an diesem Tage sowohl Fluthgrösse wie Eintrittszeiten so genau wie möglich mit diesen Zahlen übereinstimmen. Wenn also auch das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth bei Tahiti ein ganz ungewöhnliches ist, so scheint doch im Uebrigen die Zusammensetzung der Fluthwelle mit der grössten Regelmässigkeit vor sich zu gehen. Selbstverständlich muss man bei Betrachtung der Fluthcurven der einzelnen Tage den Wirkungen des Windes und denen der täglichen Ungleichheit gebührende Rechnung tragen.

Die Tiden von Tahiti sind bis jetzt unseres Wissens die Einzigen ihrer Art und wenn man weiter südlich geht, stösst man wieder auf schon bekannte Formen. In Australien treffen wir z. B. am König-Georgs-Sund, 35 Grad südlicher Breite und 118 Grad östlicher Länge von Greenwich gelegen, Eintagstiden, ähnlich denen von Petropaulofsk. Figur 38 zeigt die Fluthcurven einiger Tage im März 1836 und man sieht, dass am 10. und 11., bei stärkster südlicher Mondesdeclination, nur je eine, wenn auch nicht ganz regelmässige Tide stattfindet.

In Sydney, 34 Grad südlicher Breite, 151 Grad östlicher Länge von Greenwich, an der Ostküste Australiens zeigen die Tiden dagegen durchaus europäische Formen. Bei einer durchschnittlichen Fluthgrösse von 3′ 1¼″ im Jahre 1871, betrug die

Springfluthgrösse etwa 3′ 10″, die Taubefluthgrösse 2′ 2″, woraus ein Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth wie 1 : 3,6 sich ergeben würde. Die Schwankung in den Hafenzeiten ist schwach und beträgt etwa 67 Minuten. Die täglichen Ungleichheiten sind in den Hoch- und Niedrigwasserhöhen deutlich ausgeprägt und etwa von derselben Stärke wie am Atlantischen Ocean; die erstere springt um zwei Tage, letztere sechs Tage nachdem der Mond den Aequator passirt hat. Gewöhnlich folgt das höhere Hochwasser dem höheren Niedrigwasser, und nur an den vier Tagen, an denen zwar die tägliche Ungleichheit im Hochwasser, aber noch nicht im Niedrigwasser umgesetzt hat, ist die Reihenfolge die entgegengesetzte. Auch die täglichen Ungleichheiten in den Zeiten sind zu bemerken und die tägliche Ungleichheit in der Zeit des Hochwassers springt um, wie gewöhnlich, gleichzeitig mit der in der Höhe des Niedrigwassers. Die Spring- und Taubentiden treten durchschnittlich drittehalb Tage nach den Syzygien und Quadraturen ein. — Diese sämmtlichen Eigenschaften stimmen in auffallender Weise mit denen der Tiden des Atlantischen Oceans überein und sogar in der Fluthgrösse finden wir eine jährliche Periode, fast genau in den Wendepunkten mit der in Cuxhaven beobachteten zusammenfallend. Im Jahre 1871 war nämlich die mittlere Fluthgrösse in Sydney:

Februar bis April	3′ 1″	Mittel 3′ 1 1/4″
Mai bis Juli	3′ 3″	
August bis October	3′ 1″	
November bis Januar	3′ 0″	

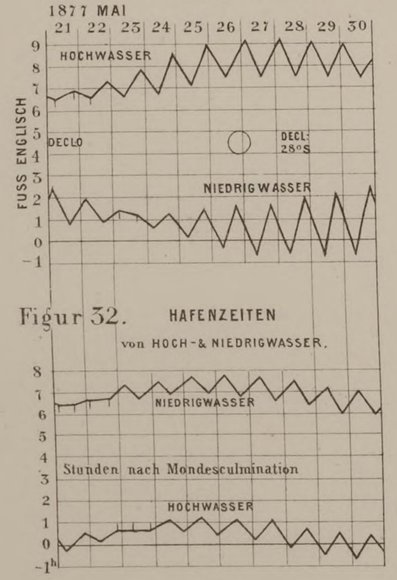
wonach das Maximum der Fluthgrösse in den Juni, ihr Minimum in den December fällt.

Diese Aehnlichkeit zwichen den Tiden so entlegener Meere ist verhängnissvoll für alle Hypothesen, die man etwa, gestützt auf besondere Eigenthümlichkeiten der Lage eines Ortes, aus den Eigenschaften seiner Tiden zu entwickeln geneigt sein könnte. Vergleicht man die Tiden der verschiedenen Oceane und Meere mit einander, so wird zunächst wohl nur der einzige Schluss gerechtfertigt sein: je grösser die Wasserflächen, je mannigfaltiger die Tiden, welche an ihren Küsten und an den von ihnen umschlossenen Inseln beobachtet werden.

ASTORIA. 46° 5' NBr. 124° W.v. Greenwich.

Höhen von HOCH- & NIEDRIGWASSER

1877 MAI



Figur 32.

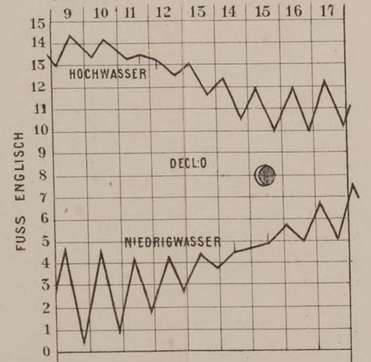
HAFENZEITEN

von HOCH- & NIEDRIGWASSER.

NOVO ARCANGELSK. 57° 2' N.Br. 135° 18' W.v. Gr.

HÖHEN von HOCH & NIEDRIGWASSER

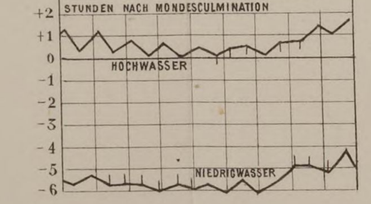
1827 JULI



Figur 33.

HAFENZEITEN

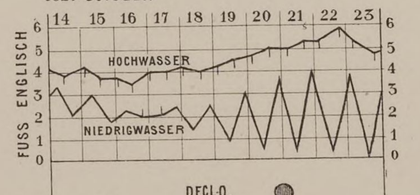
von HOCH- & NIEDRIGWASSER



PETROPAULOFSK. 53° 1' N Br 158° 44' 0 v Greenwich

HÖHEN von HOCH- & NIEDRIGWASSER

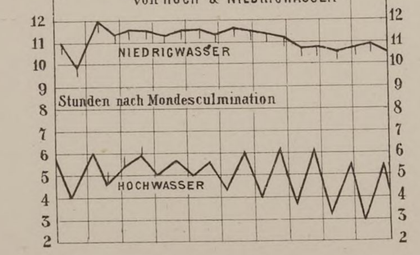
1827 OCTOBER



Figur 34.

HAFENZEITEN

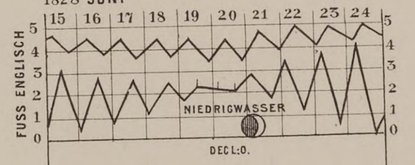
von HOCH- & NIEDRIGWASSER



PETROPAULOFSK

HÖHEN von HOCH- & NIEDRIGWASSER.

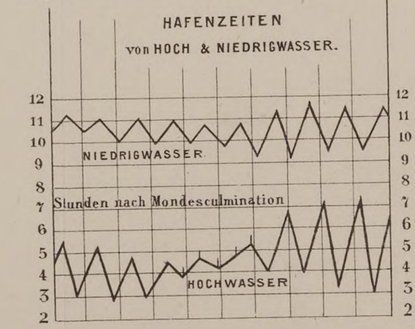
1828 JUNI



Figur 35.

HAFENZEITEN

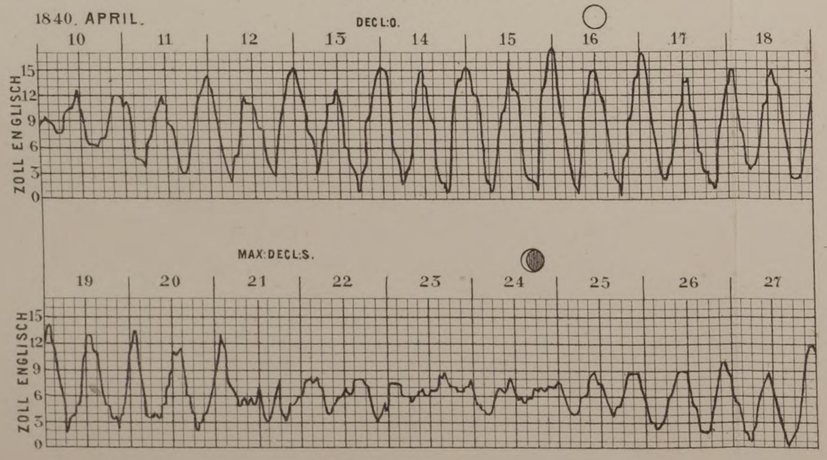
von HOCH & NIEDRIGWASSER.



FLUTHCURVEN von TAHITI, EILAND MOTOUTA.

Figur 37.

18° S. Br: 114° W. von Greenwich.



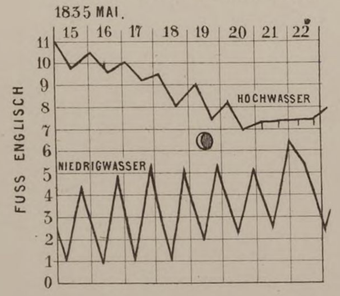
Wilh. Fenck, Lith. Anstalt, Hamburg.

Figur 36.

SINGAPORE. 1° 17' N Breite.

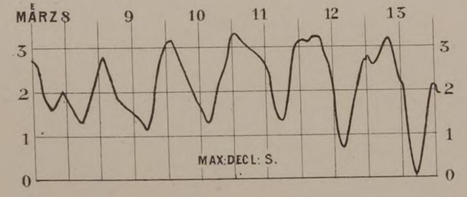
HÖHEN von HOCH & NIEDRIGWASSER.

1835 MAI.



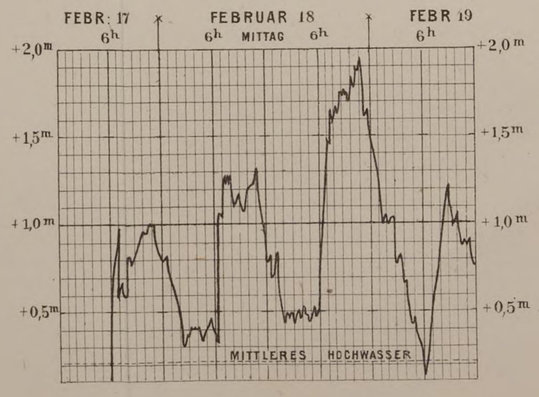
KÖNIG-GEORG'S-SUND AUSTRALIEN.

Figur 38. FLUTHCURVEN. 1836.



FLUTHCURVEN vom HELDER.

Figur 39. 1854



III.

Von der Wirkung des Windes auf den Wasserspiegel.

Unablässig, wie die Anziehungskraft der Gestirne, wirkt eine andere Kraft auf die Wasserflächen unserer Erde, und diese Kraft ist der Wind. Beide, die Gestirne und der Wind, verändern fortwährend die Höhe des Wasserspiegels, und vergeblich bemühen wir uns oft, die Wirkungen Beider von einander zu trennen.

Besucht der Binnenländer im Sommer die Küste und sieht die langgezogenen, auf freiem Wasser kaum merklichen Meereswogen am Strande sich brechen, dann hört man ihn wohl erfreut ausrufen: »Ah, da kommen die Fluthwellen!« Er ist dann freilich im Irrthum, weil man die Fluthwellen nicht sehen oder gar übersehen kann, doch nicht so sehr wie es scheint, denn auch der Sprachgebrauch an der Küste kennt »Sturmfluthen«, und deutet mit dieser Benennung bezeichnend an, dass sowohl die Gestirne wie der Wind Fluth und Ebbe erzeugen. Der einzige Unterschied zwischen ihren Fluthen besteht in der für uns mehr oder weniger verschleierten Gesetzmässigkeit.

Weht der Wind über eine Wasserfläche, so erzeugt er je nach ihrer Tiefe und Ausdehnung Wellen von verschiedener Grösse. Mit der Tiefe wachsen die Wellen, denn wie ein langer Pendel bei gleichem Stosse grössere Bogenlängen durchläuft als ein kurzer, so werden auch die Schwingungen der die Wellen bildenden Wassertheilchen durch die grössere Wassertiefe erleichtert und werden sich verstärken. Mit der Ausdehnung der Wasserfläche müssen die Wellen ebenfalls wachsen, denn erfahrungsmässig addiren sich ihre Schwingungen bis zu einem gewissen Grade, und man sieht aus diesem Grunde in der Nähe der Küste niemals hohe Wellen, wenn der Wind aus dem Lande steht.

Ist der Wind schwach, so behalten die Wellen während der ganzen Dauer einer Schwingung nahezu ihre reine Form, und jedes der die Welle bildenden Wassertheilchen kehrt nach vollendeter Schwingung in seine frühere Lage zurück. Bei stärkerem Winde

werden die beiden Abhänge der Welle mit merklich verschiedener Kraft vom Winde getroffen. Der vom Winde abgekehrte, der vordere Abhang ist durch die Welle selbst gegen die unmittelbare Wirkung des Windes geschützt, während der hintere Abhang seine ganze Fläche ungedeckt dem Winde darbietet. In Folge dessen überholt der hintere Abhang den vorderen, der Kamm der Welle verliert seine Unterstützung und stürzt schäumend auf den vorderen Abhang hinunter, nach vollendeter Schwingung der Welle nicht wieder an seine alte Stelle zurückkehrend.

Diese schäumend überstürzenden Kämme der Wellen werden je nach den Umständen die Höhe des Wasserspiegels verschiedenartig beeinflussen. Auf offener See wird der Wind irgend einer Stelle in den meisten Fällen von der einen Seite ebensoviel Wasser zuführen, wie er von ihr nach der anderen Seite abführt, und die Höhe des Wasserspiegels wird nicht verändert werden. Nimmt man aber den Entstehungsort des Windes in offener See an, so wird an diesem das nach der einen Seite entführte Wasser von der anderen Seite nicht wieder ersetzt werden; der Wasserspiegel wird hier sinken und dadurch, wenn auch in schwächerem Maasse, eine Senkung der rückwärts belegenen Wasserfläche zur Folge haben. Aehnlich muss es sein, wenn der Wind aus dem Lande wehend die See trifft. Erst in einiger Entfernung von der Küste bilden sich grössere Wellen, welche das Wasser von der Küste entfernen, und an dieser selbst wird nur mittelbar eine Senkung des Wasserspiegels veranlasst, die niemals bedeutend werden kann. Grösser müssen die Veränderungen des Wasserspiegels an der vom Winde getroffenen Küste ausfallen, und über das Maass derselben entscheidet die Belegenheit der Küste. Bildet die Küste eine vorspringende Ecke, bietet sie also dem Winde gleichsam die Spitze, so kann das andrängende Wasser zu beiden Seiten abfliessen und die Erhöhung fällt verhältnissmässig gering aus. Bedeutender muss sie werden, wenn die Küste in langer, gerader Linie dem Winde entgegensteht. Am Bedeutendsten aber, wenn die Küste, eine tiefe und allmählig sich verengende Bucht begrenzend, vom Winde getroffen wird.

Wenn ein schwerer und anhaltender Sturm über eine weite Meeresfläche dahinbraust, wenn eine riesige, donnernd sich brechende Woge unaufhaltsam der anderen folgt, dann werden grosse Wassermassen vor dem Winde hergejagt; wenn sie eindringen in die

Mündung einer weitgeöffneten Bucht, so finden sie, in dieser fortschreitend, ein stets engeres Bett. Wie bei der Fluthwelle wächst die Erhebung des Wasserspiegels mit dem Fortschreiten in der Bucht, in der Ecke derselben ihren höchsten Grad erreichend.

Die grosse Veränderlichkeit des Windes nach Richtung, Stärke und Ausdehnung, vereitelt häufig das Bemühen, seine Wirkungen im Einzelnen zu verfolgen. Ebenso, wie der Wasserspiegel fast unausgesetzt von kleineren oder grösseren, unmittelbar durch den Wind erzeugten Wellen bedeckt ist, ebenso, wenn auch meistentheils weniger auffällig, schwankt seine Höhe fortwährend in Folge des Einflusses, welche diese Wellen in ihrer Gesammtheit auf ihn ausüben.

Besonders verwickelt wird dieses nie endende Spiel in denjenigen Meeren, welche gleichzeitig von der unendlichen Folge der Fluthwellen durchlaufen werden. Bei der ausserordentlich geringen Neigung, welche die Fluthwellen dem Meere mittheilen — z. B. im englischen Canale scheint die Neigung des Wasserspiegels zu keiner Zeit der Tide und an keiner Stelle stärker als 1 : 25000 zu sein — ist es zwar nicht zu erwarten, dass sie die Wirkung des Windes irgendwie verändern, aber wie in der Fluthwelle selbst die beiden durch Sonne und Mond erzeugten Wellen für uns nur als eine Einzige in die Erscheinung treten, so werden sich auch die vom Winde hervorgebrachten mit den Fluthwellen verbinden und statt der regelmässigen Fluthwelle beobachten wir an unseren Küsten der Regel nach eine gleichsam entstellte Welle, indem die Höhe all' ihrer einzelnen Theile durch den Wind mehr oder weniger vermehrt oder vermindert ist.

Nicht überall und nicht zu jeder Zeit hat man Gelegenheit, sich von der unmittelbaren Wirkung des Windes auf den Wasserspiegel zu überzeugen. Die Mehrzahl der Stationen, auf denen die Wasserstände beobachtet werden, liegt an geschützten Buchten und Häfen, und giebt nur ein abgeschwächtes Bild von den Bewegungen des Meeres selbst. Eine glänzende Ausnahme macht in dieser Beziehung die schon erwähnte Station am Helder. Diese liegt (s. Figur 13) hart an dem dreissig bis vierzig Meter tiefen Fahrwasser des Marsdiep: gegen Süden, Westen, bis Westnordwest hat sie die offene Nordsee vor sich und erst weiter nördlich wird sie durch die niedrigen Bänke vor Texel und durch diese Insel selbst einigermaassen gedeckt. Alle Stürme aus westlicher Richtung, selbst aus

nordwestlicher, werfen die mächtigen Wogen der Nordsee völlig ungehemmt an den steil aus dem Meere aufsteigenden Deichfuss des Helder, so dass die Veränderungen in der Höhe des Meeresspiegels in genau gleicher Weise in seinen Fluthcurven erkennbar sein müssen.

Figur 39 zeigt die Fluthcurven vom Helder für zwei stürmische Tage im Februar 1854. Vergleicht man diese Curven mit den bei stillem Wetter beobachteten (s. Figur 17), so findet man kaum eine Aehnlichkeit zwischen ihnen. Die Curven der beiden Februartage sind durch eine zweifache Wirkung des Windes förmlich verzerrt. Einmal treibt der Wind den Wasserspiegel im Allgemeinen empor, denn die Hoch- und Niedrigwasserhöhen überschreiten die mittleren Höhen von Hoch- und Niedrigwasser um 0,8 bis 1,75 ^{m}; diese Wirkung des Windes steigert sich bis zum Abende des 18. Februar, weil das Hochwasser, welches an diesem Tage kurz vor Mitternacht eintritt, auch relativ das höchste ist. Das andere Mal erzeugt der Wind zahlreiche, mit niedrigen Thälern abwechselnde Gipfel, die sich bis zu 0,35 ^{m} erheben und bald von kürzerer, bald von längerer Dauer sind. Einige von ihnen umfassen eine volle Stunde und darüber, andere nur zehn oder funfzehn Minuten, und wenn sich in der allgemeinen Erhebung des Wasserspiegels die durchschnittliche Stärke und die Dauer des Sturmes ausspricht, so spiegeln sich in diesen Gipfeln die einzelnen Böen oder heftigeren Momente des Sturmes wieder, so dass die Wasserstände im Ganzen ein getreues Bild des Sturmes während seines ganzen Verlaufes liefern. Die einzelnen Wellen, diejenigen, welche man mit dem Auge unmittelbar äuf dem Meere beobachten kann, sind nicht in den Curven zu erkennen, denn sie sind zu schnell vorübergehend, um sich durch die lange, zum registrirenden Apparat führende Rohrleitung noch bemerkbar machen zu können.

Aehnliche, obgleich dem Maasse nach sehr viel schwächere Wirkungen des Windes sind in den, im vorigen Abschnitte aus dem Tahiti-Archipel mitgetheilten Fluthcurven von der Insel Motouta zu erkennen. Diese Fluthcurven sind an einer Stelle beobachtet, die ein vorliegendes Korallenriff gegen die aus der See anrollenden Wogen vollständig schützte, zu der aber doch das Wasser durch eine seitwärts belegene Einfahrt freien Zutritt hatte. Die Winde waren während der ganzen Beobachtungszeit ausserordentlich veränderlich und nur schwach, weshalb ihre Wirkung auch nur höchst

unbedeutend ausfallen konnte, umsomehr als die freie Lage der Insel den ungehinderten Abfluss des zugewehten Wassers nach allen Seiten gestattet. Nach den Fluthcurven zu urtheilen, betrugen die, innerhalb etwa einer halben oder ganzen Stunde vorübergehenden, durch den Wind im Wasser hervorgebrachten Schwankungen nicht mehr als drei, höchstens vier Zoll, und bei einer weniger gewissenhaften Beobachtung oder einer bedeutenderen Fluthgrösse wären sie garnicht zu bemerken gewesen. Deutlicher ist die Wirkung des Windes in den Veränderungen des mittleren Wasserstandes ausgesprochen. Dieser liegt für die untersuchte funfzehntägige Periode 7,50 Zoll über dem in der Zeichnung (Figur 37) angenommenen Nullpunkte, wechselt aber für die einzelnen halben Tage durchaus unregelmässig zwischen 5,28 und 9,52 Zoll, so dass auch die langsamer verlaufenden Schwankungen auf dasselbe Maass beschränkt blieben, wie die schnell vorübergehenden.

Die Gesammtheit der Wirkungen des Windes während eines längeren Zeitraumes kann sich nicht ausgleichen, sondern, weil irgend eine Windrichtung die vorherrschende ist, muss auch im Durchschnitt eines oder mehrerer Jahre die Höhe des Wasserstandes den Einfluss des Windes aussprechen, und der mittlere Wasserstand eines Ortes wird deshalb der Regel nach eine andere Höhe haben als diejenige, welche sich bei ewiger Windstille einstellen würde. Der Meeresspiegel hat also keineswegs, selbst abgesehen von der Abplattung der Erde, überall dieselbe Entfernung vom Erdmittelpunkte und durch sehr sorgfältige Höhenmessungen hat man sich bemüht, seine relative Höhe für verschiedene Orte festzulegen.

Die preussische Regierung liess in den letzten Jahren ein ausserordentlich genaues Nivellement von Memel bis Amsterdam herstellen und mit Hülfe desselben liessen sich die, aus langjährigen Beobachtungen gewonnenen, mittleren Meereshöhen verschiedener Häfen mit einander vergleichen. Die folgende Tabelle enthält die daraus gefundene Erhebung des Meeresspiegels an verschiedenen Punkten der Nord- und Ostsee über dem Meeresspiegel beim Helder, wobei zu bemerken ist, dass der aus den Jahren 1857 bis 1874 ermittelte Wasserstand in Kiel nach Maassgabe des Travemünder Wasserstandes um 0,02 ^{m} erhöht ist und deshalb ebenfalls als der mittlere Wasserstand der Jahre 1848 bis 1874 betrachtet werden darf.

Beobachtungsort	Beobachtungs-jahre	Mittlerer Wasserstand über dem Nullpunkt des Fluthmessers	Mittlerer Wasserstand über der See beim Helder
Helder	1851—1875	— 0,28 m A. P.	0
Amsterdam	?	— 0,14 m do.	+ 0,14 m
Cuxhaven	1843—1875	+ 3,47 m	+ 0,14 m
Kiel	(1857—1874)	+ 0,06 m	+ 0,07 m
Travemünde	1848—1874	+ 5,20 m	+ 0,08 m
Wismar	do.	+ 0,11 m	+ 0,12 m
Stralsund	do.	+ 1,18 m	+ 0,20 m
Wick (Greifswald)	do.	+ 1,31 m	+ 0,21 m
Swinemünde	do.	+ 1.05 m	+ 0,26 m
Colbergermünde	do.	+ 1,52 m	+ 0,16 m
Stolpmünde	do.	+ 0,72 m	+ 0,19 m
Neufahrwasser	do.	+ 3,52 m	+ 0,29 m
Pillau	do.	— 0,48 m	+ 0,21 m
Memel	do.	— 1,88 m	+ 0,52 m

In diesen Zahlen ist die Wirkung des in unserer Gegend vorherrschenden Westwindes zweifellos ausgesprochen. Amsterdam und Cuxhaven, Beide im Hintergrunde von Buchten gelegen, an deren Mündung der Helder liegt, haben einen um 0,14 m höheren Wasserstand als dieser. Der Meeresspiegel bei Kiel ist 0,07 m höher als beim Helder, wahrscheinlich weil die Nordsee auch dort, wo sie mit der Ostsee in Verbindung steht, höher ist als beim Helder. Von Kiel steigt der Spiegel der Ostsee von Westen nach Osten und zwar, abgesehen von kleinen Unregelmässigkeiten, deren Ursachen wir hier nicht weiter nachforschen können, durchaus stetig, so dass er zwischen Pillau und Memel etwa 0,30 m höher liegt als bei Kiel. Wenn diese Ansteigung in der That durch das Vorherrschen der westlichen Winde veranlasst wird, so muss sie sich bei östlichen Winden vermindern, und dies bestätigt sich durch die mittleren Wasserstände der einzelnen Monate des Jahres.

Die aus den Jahren 1846 bis 1861 bestimmten Monatsmittel für folgende zwölf Stationen: Memel, Königsberg, Pillau, Elbing,

Neufahrwasser, Stolpmünde, Rügenwaldermünde, Colbergermünde, Swinemünde, Stralsund, Barhöft und Wittow ergeben durchschnittlich nachstehende Abweichungen von dem mittleren Wasserstande der funfzehn Jahre:

Januar	— 0,03 m	April	— 0,06 m	Juli	+ 0,05 m	October	+ 0,02 m
Febraur	+ 0,01 m	Mai	— 0,08 m	August	+ 0,04 m	Novbr.	+ 0,01 m
März	+ 0,01 m	Juni	— 0,04 m	Septbr.	+ 0,07 m	Decbr.	± 0

wonach der niedrigste Wasserstand in den Mai, der höchste in den September fällt. Nach den in Rügenwaldermünde während der Jahre 1854 bis 1868 angestellten Windbeobachtungen fällt in den Mai auch das Maximum der nordöstlichen Winde und diesen muss man daher die grösste Wirkung auf die Erniedrigung des Wasserspiegels in diesem Theile der Ostsee zuschreiben. Die nordöstlichen Winde im Frühling treiben das Wasser in den westlichen Theil der Ostsee, aus dem es durch den Sund und die Belte in's Kategat abfliesst, was noch dadurch erleichtert wird, dass auch in diesem Theile der Nordsee, wie wir später sehen werden, der niedrigste Wasserstand des Jahres in den Frühling trifft. Das Abfliessen des Ostsee-Wassers in die Nordsee bei den genannten Winden wird sogar unmittelbar bestätigt, einestheils durch die Richtung der Küstenströmung in der Ostsee selbst, anderntheils durch die Richtung der Strömung im Sunde. An der pommerschen Küste, welche sich wegen ihrer langgestreckten, geraden Linie besonders zu derartigen Beobachtungen eignet, ist die Küstenströmung nach Westen gerichtet, wenn der Wind aus den Richtungen N.-N.-O. durch O. bis S.-O. weht; nach Osten, wenn der Wind aus den Richtungen S.-W. durch W. bis N.-W. weht. Bei den übrigen Winden ist die Richtung der Strömung häufig zweifelhaft oder abwechselnd. Im Sunde geht der Strom in die Nordsee, wenn der Wind aus den Richtungen N.-O. über O. und S. bis S.-W. weht; in die Ostsee, wenn der Wind aus den Richtungen von W. durch N.-W. bis N. weht. Wenn anhaltende östliche Winde den Wasserspiegel der Ostsee also senken, so müssen die westlichen, namentlich die nordwestlichen, dagegen nicht die südwestlichen, ihn erhöhen. Dies lässt sich indess nicht mit gleicher Bestimmtheit aus diesen allge-

meinen Beobachtungen nachweisen. Das Maximum der nordwestlichen Winde fällt nämlich schon in den Juni, das Minimum der nordöstlichen Winde aber erst in den October, und die südwestlichen Winde haben ihr Minimum im Mai, ihr Maximum im December, während die südöstlichen Winde endlich überhaupt wenig in Betracht kommen, weil sie nie stark hervortreten. Die hebenden und senkenden Winde arbeiten also während einer Reihe von Monaten gegeneinander und man kann nur das folgern, dass die grösste Erhebung des Wasserspiegels, welche mit 0,07^{m} im September eintritt, mit den Windbeobachtungen nicht im Widerspruche steht. Aus den Beobachtungen einzelner Tage geht aber der Zusammenhang zwischen den Winden und Wasserständen noch deutlicher hervor.

Es giebt viele Tage im Jahre, an denen der Einfluss des Windes auf den Wasserspiegel nur unmerklich ist, an anderen dagegen ist er um so hervorragender; je nach der Richtung und Stärke des Windes und nach der Lage der Küste. Sucht man aus den funfzehnjährigen Beobachtungen für die eben angeführten zwölf Küstenpunkte an der Ostsee diejenigen Tage aus, an denen der Wasserspiegel am stärksten durch den Wind gehoben oder gesenkt wurde, so findet man, dass die höchsten Anschwellungen im Durchschnitt 1,31 ^{m} betrugen, die tiefsten Senkungen 1,05 ^{m}; die letzteren blieben um 0,26 ^{m} geringer, weil der Landwind, durch den sie hervorgebracht wurden, erst in grösserer Entfernung von der Küste merkliche Wellen erzeugt, an der Küste selbst also nur mittelbar auf den Wasserspiegel einwirkt.

Die Abweichungen von diesen Mittelzahlen auf den einzelnen Stationen sind grösstentheils unbedeutend, jedoch mit zwei bemerkenswerthen Ausnahmen: Elbing und Stralsund. In Elbing übertraf die höchste Anschwellung die mittlere aller Stationen um 0,70 ^{m}, betrug also 2,01 ^{m}, und in Stralsund übertraf die tiefste Senkung die mittlere aller Stationen um 0,56 ^{m}, erreichte also 1,61 ^{m}. Beide Ausnahmen erklären sich vollständig durch die eigenthümliche Lage dieser Orte.

Die Beobachtungsstation Elbing liegt an der westlichen Ecke des Frischen Haffes, welches von Nordost nach Südwest streicht und vier Meilen breit ist. Der Nordostwind, welcher die Erhöhung

des Wasserspiegels längs der ganzen Küste bewirkt und das Wasser in die Mündung des Haffes bei Pillau hineintreibt, treibt auch im Frischen Haff das Wasser nach Elbing hinauf, so dass hier zu der in der See erzeugten Erhöhung des Wasserspiegels noch die im Frischen Haff selbst erzeugte hinzukommt. Ein Sturm aus Nordost und Nordnordost am 15./16. März 1850 erhöhte den Meeresspiegel von Stralsund bis Pillau überall in runder Zahl um einen Meter, in Pillau nur um 0,78 m — weil hier ein Theil des Wassers in's Haff abfliessen konnte — in Elbing dagegen um 1,82 m.

Stralsund liegt an einem schmalen Meeresarme, der sich in der Richtung von Nordwest nach Südost zwischen dem Festlande und der Insel Rügen hinzieht. Der Südwestwind, der im Allgemeinen das Meer längs der Küste senkt, steht hier also gerade aus dem Lande und kann vor der Stadt den Wasserspiegel unmittelbar nicht merklich beeinflussen. Auf beiden Seiten nimmt der Meeresarm aber bald bedeutend an Breite zu und das, sowohl nordwestlich wie südöstlich von der Insel Rügen, durch den Wind entführte Wasser ersetzt sich aus dem Meeresarme vor Stralsund, wobei es in diesem wegen seiner geringen Breite die ungewöhnlich starke Senkung hervorbringt.

Die Wasserstände bei dem Sturme aus Westsüdwest und Südwest am 26. Juli 1858 sind für Stralsund und auch für Elbing bezeichnend. In Stralsund sank das Wasser 0,52 m tiefer als auf der nächsten nur acht Meilen entfernten Station Barhöft und in Elbing fiel es sogar 1,15 m tiefer, als in dem dreissig Meilen entfernten Pillau, denn hier blieb es 0,13 m über seinem mittleren Stande — weil das Wasser von Elbing nach Pillau hinwehte — und in Elbing fiel es 1,02 m darunter. Am 26. November 1861, bei stürmischem Winde aus Süden und Südsüdwest, fiel das Wasser in Stralsund sogar 0,76 m niedriger als in Barhöft, so dass die Neigung des Wasserspiegels zwischen diesen beiden Orten ungefähr 1 : 20 000 betrug.

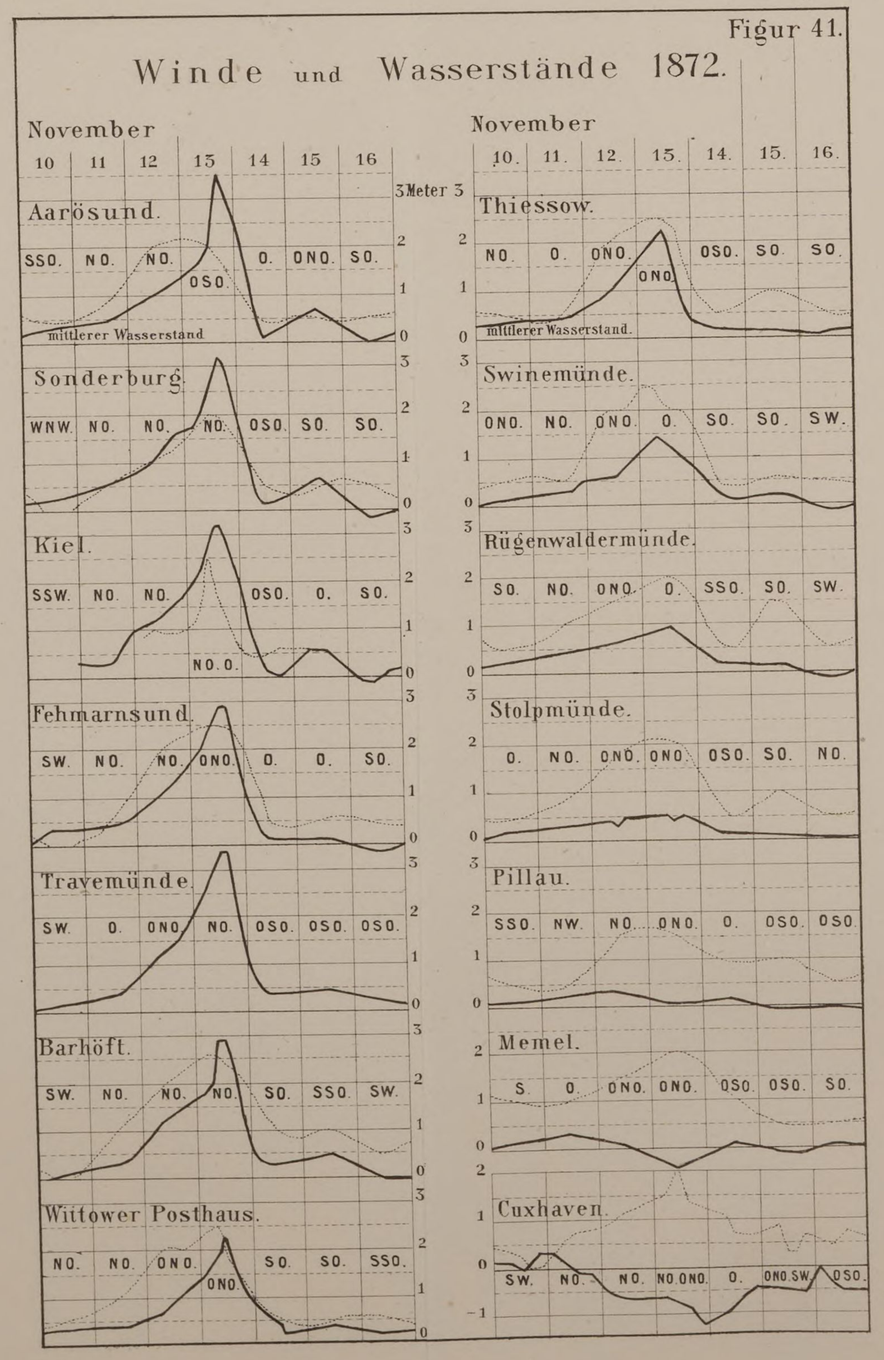
In Kiel scheinen die Schwankungen des Wasserstandes, soweit die Beobachtungen der Jahre 1858 bis 1868 dies zu beurtheilen gestatten, nach beiden Seiten das höchste Maass der an einer der eben besprochenen Stationen beobachteten Abweichungen zu erreichen, denn in den genannten elf Jahren sank dort das Wasser

bis 2,09 m unter seinen mittleren Stand und stieg bis 2,13 m darüber. Kiel liegt in der Ecke einer sich allmählig verengenden, zehn Meilen langen Bucht, die ihrerseits wiederum die Ecke einer weiteren, von Fehmarn bis zur schleswigschen Küste sich erstreckenden Bucht bildet. Wie in Elbing addirt sich desshalb in Kiel bei Nordnordostwinden die Hebung des Wasserspiegels der kleineren zu derjenigen der grösseren Bucht, und wie bei Stralsund muss sich bei Winden aus entgegengesetzter Richtung das aus den weiteren Theilen der Bucht fortgewehte Wasser aus ihren engeren Theilen ersetzen.

Perioden von elf oder funfzehn Jahren, wie wir sie bis jetzt betrachtet haben, umfassen der Regel nach keine ganz ungewöhnlichen Wasserstände. Der launische Charakter unserer Winde ist sprichwörtlich und ihre Veränderlichkeit nach Richtung, Stärke, Dauer und Ausdehnung unbegrenzt. Anschwellungen des Meeresspiegels von 1,3 bis 2,0 Meter, wie jene Perioden sie aufwiesen, zählen zwar zu den Sturmfluthen, aber da sie an vielen Orten häufiger vorzukommen pflegen, sind sie gewöhnlich weder besonders gefürchtet noch besonders schädlich. Seltener sind Sturmfluthen von grösserer Höhe und nach einer grossen Zahl von Marken, die in Lübeck vorhanden sind und wahrscheinlich als maassgebend für den benachbarten Theil der Ostsee betrachtet werden dürfen, erreichten seit dem Jahre 1625 nur sechs Sturmfluthen eine Höhe von mehr als zwei Metern über dem mittleren Wasserstande. Drei davon stiegen über drittehalb Meter und nur eine einzige über drei Meter, nämlich die Sturmfluth vom 13. November 1872, welche die bis dahin ungeahnte Höhe von 3,38 m erreichte. Bei dieser Sturmfluth trafen Richtung, Dauer, Ausdehnung und Stärke des Windes in der, nach menschlichen Begriffen, denkbar ungünstigsten Weise zusammen, und ihre nähere Beschreibung wird sich um so mehr rechtfertigen, als über keine zweite Fluth von ähnlich furchtbarem Charkater so vollständige Mittheilungen veröffentlicht sind wie über diese.

Die nachstehende Karte der Ostsee (Figur 40) enthält die vierzehn Küstenpunkte, deren Winde und Wasserstände für die Zeit vom 10. bis 16. November 1872 in der nächstfolgenden Figur (Figur 41) angegeben sind. Auf den dreizehn Stationen an der Ostsee von Arösund bis Memel ist Wind und Wasser gewöhnlich einmal täglich, um zwölf Uhr Mittags beobachtet, und nur am

Figur 40.



Wilh. Fenck, Lith. Anstalt, Hamburg.

13. November sind auf den westlichen Stationen häufigere Beobachtungen angestellt, die auch bei Anfertigung der Zeichnung benutzt sind. Der mittlere Wasserstand ist überall durch eine starke Linie angedeutet, und darüber sind in Abständen von 0,5 m feinere Linien gezogen, so dass die Höhe des Wassers über seinem mittleren Stande direct von der Zeichnung abgelesen werden kann. Die Richtung des Windes ist für jeden Tag ein- oder zweimal eingeschrieben, und seine Stärke ist mit Benutzung der für den Wasserstand halbe Meter bezeichnenden Linien nach der fünftheiligen Scala durch eine punktirte Linie angegeben. Fällt diese punktirte Linie mit der Linie des mittleren Wasserstandes zusammen, so ist der Wind »still«; erhebt sie sich einen halben Meter darüber, so ist es »windig«; erhebt sie sich einen ganzen Meter darüber, so ist »starker Wind«; bei anderthalb Meter ist es »stürmisch«, bei zwei Meter »Sturm« und bei drittehalb Meter »Orkan«. Für Cuxhaven, den vierzehnten Küstenpunkt, ist der Unterschied zwischen den berechneten und den beobachteten Höhen der Hoch- und Niedrigwasser als Erhebung, bez. Senkung des Wassers über oder unter seinen mittleren Stand in die Zeichnung eingetragen. Die Schnelligkeit des Windes wird dort mit dem Woltman'schen Flügel gemessen und wird als »Sturm« bezeichnet, wenn sie 14,3 m in der Secunde erreicht; dem entsprechend sind die Windgeschwindigkeiten in solchem Maassstabe aufgetragen, dass bei 14,3 m in der Secunde die Zweimeterlinie berührt wird. — Für einen funfzehnten Küstenpunkt, Kopenhagen nämlich, sind mir die betreffenden Beobachtungen erst später zugegangen und trage ich sie hier nach, weil sie in höchst interessanter Weise den Uebergang von der Nord- zur Ostsee in der Wirkung des Windes nachweisen.

Winde, Wasserstände und Stromrichtungen bei Kopenhagen.

1872 November	Stunde	Wind- Richtung	Wind- Stärke	Wasserstand über oder unter dem mittleren	Richtung der Strömung im Sund
10.	8h a. m.	W.-S.-W.	flau	+ 0,18 m	nach Süden
	4h p. m.	S.-W.	do.	+ 0,18 m	nach Norden
11.	8h a. m.	N. z. O.	do.	+ 0,16 m	do.
	4h p. m.	N. z. O.	frisch	+ 0,10 m	do.
12.	8h a. m.	N.-O.	Sturm	+ 0,10 m	do.
	4h p. m.	O.-N.-O.	do.	+ 0,10 m	do.
13.	8h a. m.	O.-N.-O.	do.	+ 0,34 m	do.
	4h p. m.	S.-O.	do.	+ 0,37 m	do.
14.	8h a. m.	S.-O.	do.	— 0,05 m	do.
	4h p. m.	S.-S.-O.	frisch	+ 0,08 m	do.
15.	8h a. m.	O.-S.-O.	Sturm	+ 0,05 m	do.
	4h p. m.	O.-S.-O.	do.	+ 0,08 m	do.
16.	8h a. m.	S.-W.	frisch	— 0,16 m	do.
	4h p. m.	S.-S.-O.	flau	— 0,10 m	do.

Nach diesen Erklärungen schreiten wir zur Betrachtung der Thatsachen selbst.

Im Anfange der dargestellten Periode, am 10. November 1872, ist der Wind nur flau, das Wasser weicht nirgends merklich von seinem mittleren Stande ab und die verhängnissvollen Windrichtungen N.-O. und O.-N.-O- werden nur auf Rügen und in Swinemünde beobachtet. Am 11. November leitet sich das grosse Trauerspiel ein, denn der N.-O.- oder O.-Wind weht, Pillau ausgenommen, auf allen Stationen und das Wasser steigt im westlichen Theile der Ostsee einen halben Meter; die Strömung im Sund bei Kopenhagen, die am vorigen Tage noch nach Süden lief, hat bereits umgesetzt und führt jetzt und an den folgenden Tagen das Wasser der Ostsee in die Nordsee. Am 12. November steigert sich der Wind, er wird

überall schon als »stürmisch« oder »Sturm« bezeichnet und seine Richtung ist — wie die gestrichelten Linien in Figur 40 andeuten — O.-N.-O auf Rügen und östlich von Rügen, aber N.-O. westlich von Rügen. Der Sturm treibt also die Wogen geradenwegs von der russischen Küste bis Travemünde, vierhundert Meilen weit, und am Schlusse dieses Tages ist das Wasser bei diesem Städtchen schon zwei Meter über seinen mittleren Stand gestiegen; anderthalb Meter und darüber längs der schleswig-holsteinischen Küste. Am 13. November wächst der Sturm, ohne seine Richtung zu ändern, auf der Strecke von Kiel bis fast nach Rügenwaldermünde, zum Orkan und erreicht seine grösste Stärke — soweit sich aus den Beobachtungen nachweisen lässt — in der Gegend von Rügen wahrscheinlich Morgens etwa um acht Uhr, in Kiel um zehn Uhr und in Cuxhaven etwa um Mittag; das Wasser stieg an diesem Tage bis auf mehr als drei Meter, ja selbst bis auf drei und einen halben Meter über seine mittlere Höhe. Damit war die Katastrophe eingetreten und das Ende des Trauerspiels nahe. Sowie der Wind abflaute, änderte sich auch seine Richtung nach O. und S.-O.; am 14. November ist er auf allen Stationen schwach und das Wasser nahezu wieder auf seinen mittleren Stand gesunken.

Das sind in allgemeinen Umrissen die Thatsachen der furchtbaren Sturmfluth vom November 1872. Ihrer Grossartigkeit entspricht die Einfachheit der Erklärung. Betrachtet man den ganzen Theil der Ostsee südlich von Gottland und dem auf der Karte angegebenen Windau wie ein einziges Wasserbecken, so hat der Wind, welcher dasselbe gerade nach seiner grössten Ausdehnung durchstrich, das Wasser aus dem östlichen Theile desselben nach dem westlichen hingeweht, und wegen der im Ganzen trichterförmigen Gestalt des Beckens ist die Erhöhung des Wasserspiegels in seinem westlichen Theile viel grösser ausgefallen als die Senkung desselben in seinem östlichen Theile. Mit dieser Erklärung werden wir die auf den einzelnen Stationen beobachteten Erscheinungen in vollkommener Uebereinstimmung finden.

Bei Memel sinkt das Wasser bis zum Mittage des 13. November 0,42 m unter seinen mittleren Stand, nachdem es zwei Tage vorher noch 0,32 m darüber gestanden hatte. Fast ebenso war es bei Windau in Curland, denn dort fiel das Wasser vom Mittage des 11. bis zum Nachmittage des 13. Novembers um 0,81 m. An beiden Orten stand der Wind aus dem Lande, und der Wasserspiegel vor

ihnen konnte deshalb nur mittelbar, veranlasst durch das in offener See vom Sturme entführte Wasser, gesenkt werden. Aus diesem Grunde blieb die Senkung vergleichsweise sehr unbedeutend.

Bei Pillau senkte sich der, durch den lokalen N.-W.-Wind am 11. November etwas aufgetriebene, Wasserspiegel während des Sturmes nur bis zu seiner mittleren Höhe. Bei Pillau gehörte also der Meeresspiegel zu jenem Theile des Wasserbeckens, welcher die Grenzlinie bildete zwischen der erniedrigten und zwischen der erhöhten Hälfte.

Westlich von Pillau beginnt die Hebung des Wasserspiegels. Da aber der Wind hier auf einer langen Strecke, bei ungeänderter Breite des Beckens parallel zur Küste stand, so war die Erhöhung gering; bei Stolpmünde 0,55 m und bei Rügenwaldermünde 0,95 m.

Bei Swinemünde macht sich schon die Verengung des Beckens durch die weit vortretende Küste Schwedens und durch die Insel Rügen bemerkbar, denn hier wird der Meeresspiegel bereits um 1,41 m gehoben.

Noch mehr macht sich die Wirkung dieser Verengung bei Thiessow und Wittow auf Rügen geltend, denn hier steigt das Wasser 2,19 m, bez. 2,27 m über seinen mittleren Stand. Bei dem nahegelegenen Barhöft, welches die Fluth von beiden Seiten erreicht, sogar um 2,92 m.

Westlich von Rügen tritt abermals eine bedeutende Verengung des Beckens, durch die dänischen Inseln, ein und zugleich ändert der Sturm, der hier zum Orkan geworden ist, in ungünstigster Weise seine Richtung. Obgleich ein Theil des aufgetriebenen Wassers schon in dieser Gegend nach dem Sunde abfliesst, steigern diese beiden Umstände doch die Erhebung des Meeresspiegels. Bei Fehmarnsund, mit der verhältnissmässig geringen Erhebung des Wassers von 2,89 m, macht sich das weniger bemerkbar, weil die weit vorspringende Küste das Wasser gleichsam nach beiden Seiten zertheilt; bei Travemünde aber, welches im innersten Winkel einer weit geöffneten Bucht liegt, im höchsten Maasse, denn hier wird das Wasser bis 3,32 m über seine mittlere Höhe hinaufgetrieben.

Nachdem der Sturm das Wasser bis Travemünde gepeitscht hatte, war seine Herrschaft zu Ende; hier traf er die Küste und musste einer anderen Kraft die Fortführung des von ihm begonnenen Werkes überlassen. Die Kraft des Sturmes war übergegangen in die von ihm erzeugte Welle, welche sich fortpflanzen musste wie jede andere Welle. Nach den vorhin gegebenen Daten dürfen wir an-

nehmen, dass der Augenblick, in welchem der Sturm seinen Gipfel punkt erreichte, sich von Osten nach Westen verspätete, in den zur Sturmrichtung senkrechten Linien dagegen gleichzeitig eintrat. Demgemäss erreichte das Wasser seinen höchsten Stand bei Rügen gegen Mittag, bei Travemünde um zwei Uhr Nachmittags, auf den nördlicher gelegenen Stationen aber noch später, nämlich bei:

Fehmarnsund . . . um 3 Uhr
Kiel . . . . . » 3½ »
Sonderburg. . . . . » 4½ »
Arösund . . . . . » 5½ »

Die in Kiel mit besonderer Sorgfalt angestellten Schätzungen der Windgeschwindigkeiten, verbunden mit den gleichzeitigen Beobachtungen des Wasserstandes, belehren uns über den Zusammenhang, welcher dort zwischen den Zeitpunkten des stärksten Windes und des höchsten Wassers stattgefunden hat.

Kiel. November 13. 1872.	Des Windes		Steigen des Wassers per Stunde
	Geschwindigkeit	Richtung	
6 Uhr Vorm. bis 9 Uhr Vorm.	19,4 m per Secunde	N.-O. z. O. bis N.-O.	0,17 m
9 „ „ „ 10 „ „	30,7 m „ „	N.-O.	0,21 m
10 „ „ „ 11 „ „	25,7 m „ „	N.-O.	0,16 m
11 „ „ „ 2 „ Nachm.	19,4 m „ „	N.-O. bis O.-N.-O.	0,09 m
2 „ Nachm. „ 3 „ „	19,4 m „ „	O. z. N.	0,03 m
3 „ „ „ 4 „ „	19,4 bis 16,8m pr.Sec.	O.	Höchstes Wasser um 3h 20′ = 3,17m

Während des stärksten Sturmes, Morgens von neun bis zehn Uhr, stieg auch das Wasser am schnellsten, nämlich 0,21 m in der Stunde, und es kam erst zum Stillstande, nachdem die Geschwindigkeit des Sturmes sich fast um die Hälfte, sein Druck um volle zwei Drittel vermindert hatte. Kiel liegt in Beziehung zum Sturm gewissermaassen auf einer Grenzlinie: es wird nicht wie Travemünde unmittelbar von dem aus dem östlichen Theile der Ostsee kommenden Wasser erreicht, aber wenn dieses Wasser die breite Strasse zwischen Fehmarn und Laaland passirt, muss es zum Theil

durch diese Strasse und durch den Fehmarnschen Sund seitlich abfliessen und sowie dies geschehen ist, wird es auf's Neue vom Sturm gepackt und Kiel zugetrieben. Diese Doppelstellung Kiel's bewirkt, dass die Höhe des Wassers zwar nur 0,15 m niedriger bleibt als in Travemünde, zugleich aber, dass der Augenblick des höchsten Wassers in Kiel später als in Fehmarnsund und in Fehmarnsund später als in Travemünde eintritt. Letzteres, weil das Wasser bei Fehmarnsund so lange nach Westen abfliessen musste, bis es auch dort dieselbe Höhe erreicht hatte.

In den nördlich von der Kieler Bucht gelegenen Meerestheilen konnte das Steigen des Wassers in keiner Weise vom Sturme unterstützt werden. Gleich der von den Gestirnen erzeugten Fluthwelle pflanzte die Sturmfluthwelle sich rechtwinklig zur Sturmrichtung fort, und da ihre Fortpflanzung durch die bis zum kleinen Belt hinauf stets abnehmende Meeresbreite begünstigt wurde, so hebt sich ihr Scheitel genau so, wie wir unter ähnlichen Umständen bei der Fluthwelle im Bristol-Canale gesehen haben. Der Augenblick des höchsten Wassers verspätet sich deshalb zwar naturgemäss nach Norden, aber die erreichte Höhe ist in Sonderburg schon 0,03 m grösser als in Kiel, und in Arösund 0,33 m grösser, so dass hier das Wasser volle drei und einen halben Meter über seine mittlere Höhe steigt. Ausserdem, und dies ist höchst bezeichnend für die von der Sturmfluthwelle gewonnene Selbstständigkeit, steigt das Wasser in Arösund während des letzten Theiles der Fluth schneller als an irgend einem anderen der betrachteten Orte, denn von Mittags zwölf Uhr bis Abends halbsechs Uhr wächst es anderthalb Meter, in jeder Stunde also 0,27 m.

Noch ein anderer Umstand begünstigte, wenn auch nur in zweiter Linie, das Auflaufen der Fluth bei Arösund. Der Nordoststurm erzeugte ebenfalls im Kattegat eine Sturmfluth und in Aarhuus wurden, Zeitungsnotizen zufolge, sämmtliche Kellerwohnungen dadurch unter Wasser gesetzt. Bei der geringeren Ausdehnung des Kattegats in der Sturmrichtung konnte diese Fluth nicht dieselbe Höhe erreichen wie in der Ostsee, aber immerhin musste auch sie durch den kleinen Belt zur Erhöhung des Wasserspiegels von Arösund beitragen.

Wenn wir demnach in Arösund gewissermaassen die Summe zweier Sturmfluthen vor uns haben, so erblicken wir in Kopenhagen nur ihre Differenz. Kopenhagen liegt am Sunde, welcher

mit dem vom Sturme erniedrigten Theile des Kategats und mit dem vom Sturme erhöhten Theile der Ostsee in Verbindung steht. Das von der Ostsee dem Sunde zuströmende Wasser (»der Nordoststurm kämpfte mit einem starken aus der Ostsee kommenden Strome«, berichteten damals die Zeitungen) floss also schnell nach dem Kattegat ab und das Resultat, welches die überwiegende Mächtigkeit der Sturmfluth in der Ostsee ausspricht, bestand in einer Erhöhung des Wasserspiegels vor Kopenhagen von nur 0,37 m.

In Cuxhaven endlich begegnen wir wieder einer ähnlichen Sachlage wie bei Memel. Die Helgolander Bucht, in welche die Elbe, Weser, Jahde und Eider münden, öffnet sich gegen Nordwesten und die Winde aus dieser oder einer benachbarten Richtung bewirken eine Anschwellung, die entgegengesetzten eine Senkung des Wasserspiegels in der Bucht. Der Nordostwind, welcher beinahe quer zur Bucht steht, bewirkte in Cuxhaven am Mittage des 13. Novembers trotz seiner Stärke nur eine Senkung des Wassers von dreiviertel Meter, und erst zwölf Stunden später, als der Wind viel schwächer geworden war, sich aber nach O.-N.-O. gedreht hatte, fiel das Wasser fünfviertel Meter unter die berechnete Höhe. Auch an den folgenden Tagen blieb das Wasser, bei östlicher Windrichtung unter seinem mittleren Stande; nur vorübergehend erreichte es ihn am Morgen des 16. Novembers, weil der Wind ein paar Stunden aus S.-W. geweht hatte.

Am 15. November folgte der grossen Sturmfluth in der Ostsee noch ein kleines Nachspiel, welches dem südöstlichen Winde, der in Kopenhagen sogar als »Sturm« bezeichnet wird, zuzuschreiben ist. Das Wasser stieg an diesem Tage auf den westlichen, für diese Windrichtung günstig gelegenen Stationen bis zu einem halben Meter und darüber und auch in Kopenhagen hob sich der Wasserspiegel wieder bis zu 0,08 m. Am 16. November war diese lokale und ephemere Erscheinung spurlos verschwunden, und das Meer hatte abermals überall seine normale Höhe.

Der furchtbare Sturm vom 12. und 13. November 1872, gleich ausgezeichnet durch seine Dauer wie durch seine Stärke, der gerade dort am schlimmsten wüthete, wo er den grössten Schaden anrichten konnte, erstreckte sich über eine ungeheure Fläche, welche die Grenzen des von uns in's Auge gefassten Gebietes weit überschritt. Glücklicherweise sind Stürme dieser gefährlichen Art ausserordentlich selten, denn auch die Stürme aus nordwestlicher

Richtung, obgleich der Zahl nach bei weitem die häufigsten, lassen sich nur ausnahmsweise mit jenem vergleichen, weil sie in den meisten Fällen, sowohl in der Dauer wie in der Ausdehnung, viel beschränkter sind. Nordwestliche Stürme sind überhaupt in der Ostsee, die sie fast quer treffen, weniger gefürchtet; dagegen die verderblichsten für die deutsche Küste der Nordsee, und hier ebenso schrecklich in ihren Folgen wie dort die nördlichen und die nordöstlichen Stürme.

Alle Zeugnisse vereinigen sich, um die Sturmfluth vom 3./4. Februar 1825 als die höchste, wenn auch nicht als die verderblichste, für die ganze Küste der Nordsee vom Helder bis hinauf nach Jütland erscheinen zu lassen und der Nordweststurm, der sie veranlasste, war nicht minder ungewöhnlich durch seine Dauer und Ausdehnung, wie jener Nordoststurm im Jahre 1872. Schon am 2. und 3. Februar stürmte es aus westlicher bis nordwestlicher Richtung und das Hochwasser in Cuxhaven stieg an diesen Tagen ein bis anderthalb Meter über die mittlere Höhe. Am 4. Februar Morgens um ein Uhr, bei Sturm aus W.-N.-W. und N.-W., erreichte das Wasser in Cuxhaven den höchsten je erreichten Stand mit ca. 3,48 m über der mittleren Hochwasserhöhe und auch das folgende Hochwasser, welches eine halbe Stunde vor Mittag eintrat, blieb noch 2,47 m zu hoch. Dann ging der Wind auf W.-S.-W. zurück; trotzdem überstieg wiederum das Hochwasser am 5. Februar. Morgens 1 1/2 Uhr, die mittlere Höhe um 0,95 m und nun erst beruhigten sich die aufgeregten Elemente. Die Dauer des Sturmes betrug also, wenn auch bei etwas wechselnder Richtung, nicht weniger als drei Tage, und von seiner Ausdehnung und Stärke legt die Thatsache Zeugniss ab, dass er auf einer Küstenlänge von zweihundertundfunfzig Meilen — ungerechnet die Krümmungen — die höchste bekannte Fluth hervorzubringen vermochte. Die Höhe der Fluth wird an den übrigen Theilen der deutschen Küste ähnlich (an vielen Stellen, wenn auch wahrscheinlich übertrieben, höher) wie in Cuxhaven angegeben; am Helder blieb sie dagegen bedeutend niedriger, denn sie erreichte nur 2,20 m über mittlerem Hochwasser, ebenso in Antwerpen nur 2,13 m, was sich durch die abweichende Lage dieser Orte vollständig erklärt. In Cuxhaven war diese Fluth einen halben Meter (ca. 1 1/2 Fuss Hambg.) höher als die bis dahin als höchste bekannte Fluth, nämlich die vom 22. März 1791, und nur in Ost-

friesland und in der Holländischen Provinz Groningen ward sie von einer späteren Fluth, die im Januar 1877*) eintrat und wahrscheinlich durch einen lokalen Sturm veranlasst wurde, an Höhe übertroffen.

Die beiden Fluthen vom November 1872 und vom Februar 1825 haben augenscheinlich die grösste Aehnlichkeit mit einander, denn Beide wurden durch einen mehrtägigen Sturm veranlasst, der die Wellen über eine Meeresfläche von vierhundert Meilen Ausdehnung in gerader Linie vor sich herjagte, und Beide stiegen fast genau auf dieselbe Höhe von drei und einen halben Meter über den gewöhnlichen Wasserstand. Es folgt daraus, dass weder die Fluthwelle einen Unterschied in der Wirkung des Windes bewirkt, noch die Entwickelung der Fluthwelle durch den Wind beeinträchtigt wird. Das Letztere lässt sich für unsere Nordsee-Küste noch specieller nachweisen an der zweithöchsten Fluth dieses Jahrhunderts, welche am 1. Januar 1855 eintrat.

Nachstehend sind die berechneten und beobachteten Höhen und Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser in Cuxhaven für die Zeit vom 31. December 1854 bis 2. Januar 1855 mit den Unterschieden zwischen Berechnung und Beobachtung, sowie mit der gleichzeitig beobachteten Richtung und Schnelligkeit des Windes zusammengestellt.

Cuxhaven 1854/55	Berechnet			Beobachtet			Unterschied		Beobachtet Wind-	
	Eintrittszeit	Höhe Hochwasser	Höhe Niedrigwasser	Eintrittszeit	Höhe Hochwasser	Höhe Niedrigwasser	Zeit	Höhe	Richtung	Geschw. pr. Sec.
Dec 31, Nachm.	5h 25′	—	2,23 m	5h 0′	—	2,84 m	— 25′	+ 0,61 m	W.	6 m
do.	11h 3′	4,81 m	—	11h 15′	5,32 m	—	+ 12′	+ 0,51 m	W.	—
Jan. 1, Morgens	5h 54′	—	2,08 m	5h 30′	—	3,54 m	— 24′	+ 1,46 m	W.-N.-W.	17 m
do.	11h 29′	4,59 m	—	11h 15′	7,19 m	—	— 14′	+ 2,60 m	W.-N.-W.	15 m
Nachm.	6h 21′	—	2,08 m	5h 45′	—	5,00 m	— 36′	+ 2,92 m	W.-N.-W.	16 m
do.	11h 53′	4,76 m	—	11h 30′	7,79 m	—	— 23′	+ 3,03 m	N.-W.	—
Jan. 2, Morgens	6h 45′	—	2,04 m	7h 0′	—	4,95 m	+ 15′	+ 2,91 m	N.-N.-W.	16 m
Nachm.	12h 16′	4,74 m	—	12h 0′	6,52 m	—	— 16′	+ 1,78 m	N.-N.-W.	14 m
do.	7h 10′	—	1,99 m	7h 30′	—	2,92 m	+ 20′	+ 0,93 m	N.-N.-W.	—

*) Nachträglich erfahre ich, dass diese Fluth vom 31. Jan. 1877 auch in Antwerpen eine um 0,24m grössere Höhe erreichte, als die vom Jahre 1825.

Der Sturm aus W.-N.-W beginnt in der Neujahrsnacht, denn früh Morgens am 1. Januar weht schon ein schwerer Sturm aus dieser Richtung und das Wasser steigt anderthalb Meter über die berechnete Höhe. Bis zum Abende dieses Tages stürmt es fort aus W.-N.-W. und N.-W.; das Wasser steigt immer höher und überschreitet mit dem Hochwasser kurz vor Mitternacht die berechnete Höhe um 3,03 ^{m}. Dann dreht sich der Sturm ohne nachzulassen nach N.-N.-W; er weht also nicht mehr hinein in die Helgolander Bucht, sondern parallel mit der jütisch-schleswigschen Küste. Das Wasser beginnt allmählig zu fallen und am Abend des 2. Januar steigt es nur noch bis 0,93 ^{m} über die berechnete Höhe. In den vierundvierzig Stunden vom Abend des 31. December bis zum Abend des 2. Januar wächst also die Sturmfluthwelle um drittehalb Meter und fällt dann beinahe ebensoviel, aber während der ganzen Zeit werden die Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser — in Folge der abwechselnd bald stärkeren, bald geringeren Gewalt des Windes — nur um zwölf bis sechsunddreissig Minuten verschoben, oder, mit anderen Worten, die Fluthwelle erzeugt während des Sturmes ungestört ihre regelmässigen Schwankungen des Wasserspiegels und völlig unabhängig von der grösseren, durch die Sturmfluthwelle erzeugten Schwankung.

Dasselbe Resultat ergeben die gleichzeitigen Beobachtungen beim Helder.

Figur 42 enthält die Fluthcurven vom Helder vom Nachmittage des 31. Decembers bis zum Morgen des 3. Januars. Darunter ist die Richtung des Windes bemerkt, und seine Stärke ist von Stunde zu Stunde in der Art angegeben, dass 0,1 ^{m} Höhe in der Zeichnung 10^{k} Winddruck pr. □-^{m} entsprechen. Man nennt am Helder den Wind »Sturm«, wenn sein Druck 45 bis 75^{k} pr. □-^{m} beträgt, und »Orkan«, wenn der Druck 75^{k} pr. □-^{m} übersteigt. Der Sturm aus den Richtungen W., W.-N.-W. und N.-W. hat demnach beim Helder mit kurzen Unterbrechungen vom 1. Januar, Morgens zwei Uhr, bis zum 2. Januar, Morgens sieben Uhr, angehalten, folglich, soweit die Beobachtungen urtheilen lassen, genau so lange wie in Cuxhaven. Am 1. Januar, Abends neun Uhr, steigerte er sich sogar zum »Orkan«, denn um diese Stunde übte er einen Druck von 76^{k} pr. □-^{m} aus, zehn Minuten später sogar von 76,5 ^{k}. Dem Sturme entsprechend finden wir die Erhebung

von Hoch- und Niedrigwasser über ihre mittleren Höhen, wie die letzten Spalten der folgenden Tabelle angeben:

Helder 1854—55	Eintrittszeit	Höhen von		Erhebung über mittlerem	
		Hochwasser	Niedrigwasser	Hochwasser	Niedrigwasser
December 31.	11h 0′ p. m.	—	— 0,53 m	—	+ 0,42 m
Januar 1. . . .	5h 40′ a. m.	+ 1,09 m	—	+ 0,88 m	—
	11h 0′ a. m.	—	+ 0,46 m	—	+ 1,41 m
	5h 42′ p. m.	+ 2,09 m	—	+ 1,88 m	—
Januar 2. . . .	0h 50′ a. m.	—	+ 1,05 m	—	+ 2,00 m
	3h 45′ a. m.	+ 1,87 m	—	+ 1,66 m	—
	0h 56′ p. m.	—	— 0,12 m	—	+ 0,83 m
	4h 0′ p. m.	+ 1,03 m	—	+ 0,82 m	—

Die Erhebung des Wassers über seinen gewöhnlichen Stand steigert sich, solange der Sturm anhält und erreicht ihr höchstes Maass mit zwei Metern bei dem Niedrigwasser am Morgen des zweiten Januars, also fast genau um dieselbe Stunde wie in Cuxhaven. Das Maass der Erhebung bleibt wiederum, in Folge der freieren Lage des Helder, geringer als in Cuxhaven und eine wesentliche Verschiebung der Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser scheint ebensowenig wie dort stattzufinden. Die Stärke des Windes an beiden Orten lässt sich leider nicht mit einander vergleichen, denn einestheils sind die Beziehungen zwischen der Schnelligkeit und dem Drucke des Windes noch nicht genügend festgestellt, anderntheils sind auch die Bestimmungen der Schnelligkeit des Windes in Cuxhaven unsicher, sobald sie etwa zwölf oder funfzehn Meter in der Secunde übersteigt. Bei Stürmen von beschränkter Ausdehnung kann auch der Fall eintreten, dass das Wasser am Helder höher steigt als bei Cuxhaven, wie denn z. B. die bereits angeführte Sturmfluth vom 18. Febr. 1854 in Cuxhaven einen halben Meter niedriger blieb, weil dort der Wind zwar aus W.-N.-W., aber durchaus nicht stürmisch wehte. Die Neujahrsfluth im Jahre 1855 blieb auch an der Nordspitze Sylts, sechszig Meilen von der Elb-

mündung, niedriger als in Cuxhaven, denn sie stieg dort nur 2,64 m über mittlere Hochwasserhöhe.

Die von uns betrachteten Sturmfluthen lehren, dass — wie sich auch von vorne herein erwarten lässt — anhaltende und schwere Stürme, welche geradenwegs aus offener See die Küste treffen, die grössten Anschwellungen des Wassers hervorbringen. Nichtsdestoweniger ist an der Nordsee die Ansicht verbreitet, dass die bei uns häufigeren Stürme, welche aus südöstlicher oder südlicher Richtung beginnen und dann nach Nordwesten herumgehen, gefährlicher sind. Diese Ansicht ist irrig; ich werde aber einige derselben, sogenannte »Ausschiesser«, wegen ihrer plötzlicheren und unregelmässigeren Wirkungen anführen.

Am 3. Dec. 1863 wehte in Cuxhaven Nachmittags ein heftiger Wind aus S.-S.-O., der in See indess schon eine andere Richtung haben musste, denn das Wasser bleibt beinahe einen halben Meter zu hoch. Abends weht ein Sturm aus S.-W., der zwar nur eine

Cuxhaven 1863 December	Berechnet			Beobachtet			Unterschied		Wind-	
	Eintrittszeit	Höhe Hochwasser	Höhe Niedrigwasser	Eintrittszeit	Höhe Hochwasser	Höhe Niedrigwasser	Zeit	Höhe	Richtung	Geschw. pr. Sec.
3. Nachm.	12h 6′	—	2,11 m	12h 40′	—	2,59 m	+ 34′	+ 0,48 m	S.-S.-O.	9 m
do.	5h 46′	4,47 m	—	7h 25′	4,79 m	—	+ 99′	+ 0,32 m	S.-W.	14 m
4. Morgens	12h 32′	—	2,27 m	—	—	4,42 m	—	+ 2,15 m	—	—
do.	6h 14′	4,64 m	—	6h 30′	7,41 m	—	+ 16′	+ 2,77 m	N.-W.	14 m
Nachm.	12h 56′	—	2,23 m	1h 30′	—	5,36 m	+ 34′	+ 3,13 m	N.-N.-W.	11 m
do.	6h 40′	4,42 m	—	6h 0′	5,67 m	—	— 40′	+ 1,25 m	N.-W.	9 m
5. Morgens	1h 26′	—	2,32 m	—	—	2,79 m	—	+ 0,47 m	—	—

mässige Erhöhung, aber eine Verspätung des Hochwassers von mehr als anderthalb Stunden bewirkt. Während der Nacht geht der Sturm nach N.-W. herum, das Wässer fährt fort zu steigen, und das Niedrigwasser am anderen Mittage, nachdem der Wind schon schwächer und auf N.-N.-W. gegangen war, bleibt um 3,13 m über der berechneten Höhe. Dann wird der Wind noch schwächer,

das nächste Hochwasser tritt vierzig Minuten zu früh ein und steigt nur 0,31 m höher als das vorangegangene Niedrigwasser.

Noch überraschender wirkte ein Sturm am 25. October 1868.

Cuxhaven 1868 October	Berechnet			Beobachtet			Unterschied		Wind-	
	Eintrittszeit	Höhe Hochwasser	Höhe Niedrigwasser	Eintrittszeit	Höhe Hochwasser	Höhe Niedrigwasser	Zeit	Höhe	Richtung	Geschw. pr. Sec.
25. Morgens	1h 29′	—	2,44 m	—	—	2,13 m	—	— 0,31 m	S.-O.	—
do.	7h 18′	4,59 m	—	8h 40′	6,79 m	—	+ 82′	+ 2,20 m	W.-N.-W.	15 m
Nachmittags	2h 6′	—	2,34 m	3h 10′	—	4,66 m	+ 64′	+ 2,32 m	W.-N.-W.	10 m
do.	7h 55′	4h 42′	—	8h 0′	5,41 m	—	+ 5′	+ 0,99 m	W.-N.-W.	8 m
26. Morgens	2h 49′	—	2,42 m	—	—	2,90 m	—	+ 0,48 m	—	—
do.	8h 34′	4,66 m	—	8h 35′	4,85 m	—	+ 1′	+ 0,19 m	S.-S.-O.	1 m

Gleich nach Mitternacht wehte Südostwind, der das Wasse 0,31 m unter die berechnete Höhe senkte. Auch um drei Uhr wehte noch derselbe Wind, aber schon um sechs Uhr war der Sturm aus W.-N.-W. vollkommen ausgebildet. Er verzögerte den Eintritt des Hochwassers um zweiundachtzig Minuten und trieb dasselbe 2,20 m über die berechnete Höhe, wodurch die Fluthgrösse von Niedrig- bis Hochwasser das höchste je beobachtete Maass, nämlich 4,66 m, erreichte. Vor Mittag war der eigentliche Sturm schon vorüber, aber das folgende Niedrigwasser blieb verhältnissmässig höher als das vorangegangene Hochwasser und trat über eine Stunde zu spät ein. Erst das nun folgende Hochwasser erschien rechtzeitig und stieg, dem noch immer lebhaften Winde entsprechend, einen Meter über die berechnete Höhe. Am nächsten Mongen wehte wieder ganz flauer S.-S.-O.-Wind, so dass das ganze Unwetter in weniger als vierundzwanzig Stunden vorübergezogen war.

Man hört häufig einen Zusammenhang des Wetters mit dem Monde behaupten und, obgleich diese Behauptung nie bewiesen werden konnte, meines Wissens sogar schon oft widerlegt worden ist, taucht sie doch immer wieder auf. Neuerdings werden sogar die Stürme gewissermassen als die Springfluthen unserer Atmo-

sphäre bezeichnet und sollen deshalb vorzugsweise auf die Tage der Syzygien fallen. Wenn dies der Fall wäre, so müssten auch — da bei weitem die Mehrzahl unserer Stürme aus westlicher Richtung weht — die Sturmfluthen an unserer Nordseeküste an den Tagen von Voll- und Neumond häufiger oder höher sein als an den übrigen Tagen, was sehr leicht aus den in Cuxhaven beobachteten Sturmfluthen nachzuweisen sein würde. Diejenigen Fluthen in Cuxhaven, welche eine Höhe von mindestens 5,90 m am Fluthmesser erreichen, die mittlere Hochwasserhöhe also um mindestens 1,12 m übersteigen, nennt man »Sturmfluthen« und alle seit dem Jahre 1813 eingetretenen Sturmfluthen sind nach Höhe und Eintrittszeit bekannt. Ordnet man die Sturmfluthen der vierundsechzig Jahre 1813 bis 1876 nach dem Mondesalter, so erhält man nachstehende Tabelle, welche die Anzahl und die Durchschnittshöhe der auf jeden Tag des Mondesalters entfallenen Sturmfluthen angiebt.

Hochwasser in Cuxhaven von 5,9 m oder mehr am Fluthmesser in den Jahren 1813 bis 1876.

Tage nach Neu- oder Vollmond	Der Hochwasser		Tage nach Neu- oder Vollmond	Der Hochwasser	
	Anzahl	Höhe		Anzahl	Höhe
0	34	6,19 m	8	26	6,29 m
1	59	6,29 m	9	24	6,32 m
2	49	6,21 m	10	16	6,17 m
3	57	6,27 m	11	27	6,17 m
4	47	6,32 m	12	27	6,36 m
5	43	6,27 m	13	40	6,37 m
6	45	6,30 m	14	30	6,17 m
7	27	6,37 m		Mittlere Höhe =	6,27 m

Da auf jeden Tag durchschnittlich siebenunddreissig Sturmfluthen treffen, so folgt aus dieser Zusammenstellung, dass die Sturmfluthen an den Tagen nach den Syzygien am häufigsten,

zugleich aber auch, dass sie dann am niedrigsten sind. Beides erklärt sich dadurch, dass dies die Tage der Springfluthen sind, an denen schon bei mässigerem Winde die Höhe von 5,9 m erreicht oder überschritten wird. Man wird deshalb ein richtigeres Resultat erhalten, wenn man nur jene Fluthen berücksichtigt, welche die normale Höhe des Tages — die sich mit Hülfe der Untersuchungen des vorigen Abschnittes bestimmen lässt — um ein gewisses Maass überschritten haben. Schliesst man demnach aus dem obigen Verzeichnisse diejenigen Fluthen aus, welche die normale Höhe des Tages um weniger als 1,35 m überschritten, so reducirt sich die Zahl der Fluthen fast auf die Hälfte und man erhält für die einzelnen Tage das nachstehende Resultat.

Hochwasser in Cuxhaven, welche die normale Höhe um 1,35 m oder mehr überschritten. 1813—1876.

Tage nach Neu- oder Vollmond	Normale Höhe des Tages + 1,35 m	Der Hochwasser Anzahl	Der Hochwasser Höhe	Ueberschreitung der normalen Höhe + 1,35 m	Tage nach Neu- oder Vollmond	Normale Höhe des Tages + 1,35 m	Der Hochwasser Anzahl	Der Hochwasser Höhe	Ueberschreitung der normalen Höhe + 1,35 m
0	6,25 m	14	6,39 m	0,14 m	8	5,99 m	22	6,35 m	0,36 m
1	6,27 m	20	6,69 m	0,42 m	9	5,93 m	22	6,35 m	0,42 m
2	6,29 m	11	6,85 m	0,56 m	10	5,90 m	16	6,17 m	0,27 m
3	6,29 m	18	6,72 m	0,43 m	11	5,97 m	22	6,21 m	0,24 m
4	6,26 m	23	6,61 m	0,35 m	12	6,06 m	18	6,64 m	0,58 m
5	6,20 m	18	6,70 m	0,50 m	13	6,13 m	22	6,67 m	0,54 m
6	6,13 m	27	6,50 m	0,37 m	14	6,20 m	15	6,42 m	0,22 m
7	6,06 m	19	6,52 m	0,46 m	Mittel	6,13 m	19	6,52 m	0,39 m

Nun treten die Tage der Syzygien oder die ihnen folgenden Tage in keiner Weise mehr hervor, denn die überall bemerkbaren Schwankungen in der Zahl der Sturmfluthen oder in dem Maass, um welches sie die normale Höhe überstiegen, rühren offenbar nur

davon her, dass der in Betracht gezogene Zeitraum zu kurz ist, um die völlig gleichmässige Vertheilung der Fluthen über alle Tage des Mondesalters ganz klar erkennen zu lassen. Fasst man je fünf Tage zusammen:

Tage nach Neu- oder Vollmond	Der Sturmfluthen	
	Anzahl	Ueberschreitung der normalen Höhe + 1,35
13. 14. 0. 1 u. 2.	82	0,38 m
3. 4. 5. 6 u. 7.	105	0,42 m
8. 9. 10. 11 u. 12.	100	0,37 m

so zeichnen sich die Tage in der Nähe der Syzygien noch weniger aus, und man wird sich der Ansicht nicht verschliessen können, dass der Mond und die Stürme in keinerlei Beziehungen zu einander stehen. Der grosse Newton sagte auch schon vor zweihundert Jahren: »Die Atmosphäre hat zwar, in Folge dieser Kräfte« — nämlich der flutherzeugenden von Sonne und Mond — »nach Art des Meeres eine Ebbe und Fluth, allein mit so geringer Bewegung, dass daraus kein bemerkbarer Wind entspringen kann.« Und in einer Note fügt er hinzu: »Diejenigen sind daher unverständig, welche die Wetterveränderung aus der Kraft des Mondes herleiten.«

Ungewöhnliche Senkungen des Wasserspiegels führen zwar nicht die Gefahren mit sich wie die Sturmfluthen, aber sie sind ebenso interessant wie diese und für die Schifffahrt oft von der grössten Wichtigkeit. Ich werde deshalb auch sie an der Hand der Cuxhavener Beobachtungen etwas eingehender untersuchen.

Der Charakter des Ostwindes, der, wie wir bereits gesehen haben, den Nordsee-Spiegel an unserer Küste senkt, ist völlig verschieden von dem des Westwindes. Er ist stetig, langsam anschwellend und allmählig wieder nachlassend; selten wird er zum Sturm, aber oft weht er lebhaft oder stark, tage- ja wochenlang. Aehnlich sind seine Wirkungen auf den Wasserspiegel und merk-

würdigerweise sind die stärksten Senkungen desselben in Cuxhaven nicht bei den stärksten Ostwinden beobachtet, sondern bei sehr mässigem, aber lange anhaltendem O.-S.-O.-Winde. Vom 30. Januar bis 19. Februar 1870, also drei Wochen lang, wehte Ostwind; im Anfange dieser Periode mehr südlich, gegen Ende derselben mehr nördlich. Seine Richtung und Stärke, sowie die von ihm hervorgebrachten Senkungen des Wasserspiegels unter die berechnete Höhe, waren an den folgenden Tagen:

Cuxhaven 1870	Richtung des Windes	Des Windes mittlere Schnelligkeit pr. Secunde	Mittlere Senkungvon Hoch- und Niedrigwasser unter die berechnete Höhe
Februar 4 ...	O.-S.-O	3,0 m	0,41 m
„ 5 ...	O.-S.-O.	5,2 m	0,84 m
„ 6 ...	O.-S.-O.	5,3 m	1,21 m
„ 7 ...	O.-S.-O.	6,6 m	1,97 m
„ 8 ...	O.-S.-O.	6,7 m	1,97 m
„ 9 ...	O.	5,4 m	1,31 m
„ 10 ...	O.-N.-O.	3,0 m	0,49 m

Bei nahezu unveränderter Richtung des Windes nimmt seine Stärke in dieser Woche mit fast vollkommener Regelmässigkeit erst zu und dann wieder ab, wobei die Senkungen des Wasserspiegels genau gleichen Schritt mit ihm halten. Die Regelmässigkeit vermindert sich nur wenig, wenn man die einzelnen Hoch- und Niedrigwasser berücksichtigt, wie die nachstehenden beiden Tage, mit den niedrigsten, je beobachteten Wasserständen, beweisen:

Cuxhaven 1870 Februar	Berechnet Eintrittszeit	Berechnet Höhe Hochwasser	Berechnet Höhe Niedrigwasser	Beobachtet Eintrittszeit	Beobachtet Höhe Hochwasser	Beobachtet Höhe Niedrigwasser	Unterschied Zeit	Unterschied Höhe	Wind Richtung	Wind Schnelligkeit pr. Sec.
7. Vormittags	4h 51′	4,88 m	—	4h 45′	2,85 m	—	— 6′	— 2,03 m	O.-S.-O.	7 m
do.	11h 34′	—	1,94 m	11h 45′	—	0,10 m	+11′	— 1,84 m	O.-S.-O.	6 m
Nachmittags	5h 8′	4,62 m	—	5h 0′	2,50 m	—	— 8′	— 2,12 m	O.-S.-O.	7 m
do.	11h 48′	—	2,06 m	—	—	c.0,15m	—	— 1,91 m	—	—
8. Vormittags	5h 24′	4,83 m	—	5h 15′	2,82 m	—	— 9′	— 2,01 m	—	—
Nachmittags	12h 7′	—	1,99 m	12h 5′	—	0,08 m	— 2′	— 1,91 m	O.-S.-O.	6 m
do.	5h 44′	4,57 m	—	5h 30′	2,58 m	—	—14′	— 1,99 m	O.-S.-O.	7 m
9. Vormittags	12h 25′	—	2,15 m	12h 25′	—	0,12 m	± 0	— 2,03 m	—	—

Das niedrigste Hochwasser, am 7. Februar Nachmittags, sinkt bis 2,12 m unter die berechnete Höhe, das niedrigste Niedrigwasser, am 9. Februar Vormittags, nur bis 2,03 m, und da auch durchschnittlich die Niedrigwasser um 0,12 m weniger sinken als die Hochwasser, so liegt die Vermuthung nahe, dass die Niedrigwasserhöhen nicht in gleicher Weise wie die Hochwasserhöhen durch den Wind beeinflusst werden. Dies ist indessen schwerlich der Fall, sondern diese Sprünge — die sich auch in den Abweichungen der Eintrittszeiten bemerkbar machen — sind wahrscheinlich nur den Ungenauigkeiten der Berechnung zuzuschreiben; die Fluthen in Figur 43 werden den Beweis dafür liefern. Diese Figur zeigt die Fluthcurven der vom 20. bis 28. März 1876 beobachteten Aequinoctialtiden und zugleich die berechneten Hoch- und Niedrigwasserhöhen, die durch gestrichelte Linien mit einander verbunden sind. Die beobachteten Hafenzeiten sind durch volle, die berechneten durch gestrichelte Linien angegeben. Die Culminationszeiten des Mondes sind im oberen Theile der Figur durch gestrichelte, senkrechte Linien angedeutet; die Declination des Mondes, Richtung und Stärke des Windes sind ebenfalls beigeschrieben.

Am 20. März ist schwacher Nordwestwind, und Hoch- wie Niedrigwasser werden gleichmässig um etwa 0,3 m gehoben. Am 21. März ist flauer Ostwind, der keine Abweichungen von den be-

rechneten Höhen bewirkt. Am 22. März ist frischer Nordwind, der, seiner Richtung gemäss, den Wasserspiegel weder hebt noch senkt, denn die Hochwasser treten ebenso viel über, wie die Niedrigwasser unter die berechnete Höhe. Am 23. März ist frischer Westwind, die Niedrigwasserhöhen stimmen jetzt mit der Berechnung überein, die Hochwasser sind aber etwa einen halben Meter über der berechneten Höhe. Am 24. März ist schwacher Nordwind und der Fall liegt genau so wie am 22. März. Am 25., 26. und 27. März ist mässiger Ostwind: Die Hochwasser sinken etwa 0,2 m unter die berechnete Höhe, die Niedrigwasser aber um etwa 0,5 m. Am 28. März ist mässiger Südostwind, die Senkung des Wasserspiegels wächst, beträgt aber wiederum im Niedrigwasser viel mehr als im Hochwasser. Wir finden also in dieser Periode die Unterschiede in der Wirkung des Windes auf die Hoch- und auf die Niedrigwasserhöhen noch viel bedeutender als im Februar 1870, aber sie werden einzig und allein — einerlei ob West- oder Ostwind — durch die in der Wirklichkeit von der Berechnung abweichende Fluthgrösse hervorgerufen, was noch überzeugender der folgende Vergleich darthut.

Berechnete und beobachtete Fluthgrössen in Cuxhaven.

März 1876	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Berechnet	2,19 m	2,28 m	2,45 m	2,68 m	2,89 m	3,04 m	3,16 m	3,28 m	3,28 m
Beobachtet	2,23 m	2,32 m	2,87 m	3,08 m	3,28 m	3,43 m	3,45 m	3,62 m	3,60 m
Unterschied	+ 0,04 m	+ 0,04 m	+ 0,42 m	+ 0,40 m	+ 0,39 m	+ 0,39 m	+ 0,29 m	+ 0,34 m	+ 0,32 m

Die Mängel der Berechnung werden durch diese Differenzen, welche bis zu 0,42 m betragen, in schlagendster Weise blossgelegt, aber wie schwierig eine völlig zutreffende Berechnung sein muss, ersieht man daraus, dass die Fluthgrössen vom 21. auf den 22. März, bei schwachen und neutralen Winden, einen plötzlichen Sprung von einem halben Meter machen, wodurch die Differenzen mit der

Berechnung ebenso plötzlich um 0,40 m wachsen, um dann nur ganz allmählig sich wieder zu verringern.

Darf man nun nach diesem Beispiele, und im Einklange mit allen sonstigen Erfahrungen, auch annehmen, dass die Höhen von Hoch- und Niedrigwasser durchschnittlich vollkommen gleichmässig durch den Wind beeinflusst werden, so bleibt es doch sonderbar, dass ein so mässiger Wind von 7 m in der Secunde, wie er in jener Februarwoche 1870 herrschte, so ausserordentlich grosse Senkungen des Wasserspiegels hervorbringen konnte, grössere als selbst bei Oststürmen je vorgekommen sind. Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung kann man nur in der Veränderlichkeit des Windes von Ort zu Ort suchen und es ist zu vermuthen, dass diese gerade an der Meeresküste besonders stark hervortreten wird. Um darüber Aufklärung zu erhalten, habe ich die Winde auf Helgoland mit denen in Cuxhaven verglichen und sie sehr häufig von einander abweichend gefunden. Die Windstärken auf Helgoland werden nur geschätzt und für den speciellen Zweck dieser Vergleiche habe ich die geschätzten Stärken, im Anschlusse an die Cuxhavener Messungen, in Windgeschwindigkeiten umgesetzt. Dann ergeben sich die beiden folgenden Fälle aus den Beobachtungen des Jahres 1874.

1874	In Cuxhaven		Auf Helgoland
	Hochwasser unter der berechneten Höhe	Richtung und Schnelligkeit des Windes	Richtung und Schnelligkeit des Windes
Februar 27..	1,8 m	O.-S.-O. 7 m pr. Sec.	S.-S.-O. 13 m pr. Sec.
November 29	1,6 m	O.-S.-O. 9 m pr. Sec,	S.-O. 13 m pr. Sec.

Beidemal war der Wind auf Helgoland also sehr stark und der von ihm ausgeübte Druck zwei- oder dreimal stärker als in Cuxhaven. Entgegengesetzte Fälle, in denen östlicher Wind in Cuxhaven stärker als auf Helgoland gewesen wäre, kamen während des ganzen Jahres nicht ein einziges Mal vor. In ähnlicher Weise fällt es häufig im Vorsommer auf, dass das Wasser in Cuxhaven seine gewöhnliche Höhe trotz stürmischen Nordwestwindes nicht überschreitet und auch dies erklärt sich durch die abweichenden

Winde in See. Z. B. an den beiden folgenden Tagen behielten Hoch- und Niedrigwasser in Cuxhaven ihre normale Höhe:

1874	Cuxhaven	Helgoland
April 30	N.-W. 11 m pr. Sec.	N.-N.-W. 9 m pr. Sec.
Mai 14	N.-W. 10 m pr. Sec.	N.-N.-W. 8 m pr. Sec.

denn der Wind war auf Helgoland nicht nur merklich schwächer, sondern auch zwei Striche nördlicher, und wirkte deshalb überhaupt nicht auf eine Erhöhung des Wasserspiegels in der Helgolander Bucht.

Die Wasserstände in Cuxhaven werden nicht nur in einzelnen Fällen, sondern der Regel nach von den in See herrschenden Winden abhängen, denn im Strome ist der Wind nicht mehr von merklichem Einflusse auf den Wasserspiegel. Die folgende Zusammenstellung:

Winde vom 16. Januar bis 31. December 1874.

Cuxhaven.

In Procenten der Zeit.

	NNO u. NO.	ONO u. O	OSO u. SO	SSO u. S	SSW u. SW	WSW u. W	WNW u. NW	NNW u. N.
Frühling (März—Mai)	10	16	4	5	14	15	25	11
Sommer (Juni—August)	3	9	4	9	15	18	31	11
Herbst (Septbr.-Novbr.)	5	5	11	20	31	14	9	5
Winter (Decbr.—Febr.)	10	9	11	13	19	18	11	9
Jahr	7	10	7	12	20	16	19	9

Helgoland.

Frühling	12	15	8	7	7	25	9	17
Sommer	3	9	5	4	13	27	13	26
Herbst	3	8	4	14	23	32	7	9
Winter	7	9	10	14	11	19	17	13
Jahr	6	10	7	10	13	26	12	16

zeigt aber durchstehende und wesentliche Verschiedenheiten in den Cuxhavener und Helgolander Winden. Aus den Richtungen N.-N.-O. durch O. bis S. stimmen sie allerdings an beiden Orten in allen Jahreszeiten stets sehr nahe überein, aber keineswegs in den westlichen Richtungen. In Cuxhaven sind im Frühling und Sommer die nordwestlichen, im Herbst und Winter die südwestlichen Winde vorherrschend, auf Helgoland dagegen während des ganzen Jahres die Westwinde. Die nordwestlichen Winde treten auf Helgoland auffallend zurück und an ihrer Stelle die Nordwinde, namentlich im Frühling und Sommer, in den Vordergrund, so dass sich in diesen beiden Jahreszeiten, und auch im Herbste, ein Maximum des Windes aus Norden einstellt. Dieses wird im Winter durch ein anderes aus Süden abgelöst, welches sich ebensowenig wie das nördliche in Cuxhaven findet. Im Jahresmittel werden dadurch die Maxima, welche auf der westlichen Hälfte der Windrose in Cuxhaven auf S.-W und N.-W. treffen, auf Helgoland nach W. und N., also Beide vier Striche nördlicher, geschoben.

Angesichts dieser Verschiedenheiten kann man nicht erwarten, dass die Winde und Wasserstände in Cuxhaven jederzeit harmoniren, und häufig werden die letzteren sich eher aus den Helgolander als aus den Cuxhavener Winden erklären lassen. Betrachtet man z. B. die mittleren Wasserstände für die einzelnen Jahreszeiten des Jahres 1874:

Cuxhaven	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Am Fluthmesser	3,43 m	3,50 m	3,59 m	3,54 m	3,51 m
Abweichung vom Jahresmittel	— 0,08 m	— 0,01 m	+ 0,08 m	+ 0,03 m	0

so findet man den Wasserstand des Frühlings 0,08 m unter dem Jahresmittel, weil auf Helgoland die senkenden O. und S.-O.-Winde den Jahresdurchschnitt merklich übertrafen, die hebenden West- und Nordwestwinde aber darunter blieben. Der Sommerwasserstand bleibt auch unter dem Jahresmittel, indess nur 0,01 m, was insofern seinen Ausdruck in den Helgolander Winden findet, als auch diese während des Sommers sich nur wenig vom Jahresmittel entfernen.

Der Wasserstand des Herbstes ist der höchste, denn er überschreitet das Jahresmittel um 0,08 m; durchaus in Uebereinstimmung mit den Helgolander Winden, denn die Ostwinde sind dann dort am seltensten, die Westwinde am häufigsten. Auch im Winter bleibt der Wasserstand 0,03 m über dem Jahresmittel und dies wird dadurch erklärlich, dass in dieser Jahreszeit die Nordwestwinde, die vor Allen hebenden, am häufigsten auftreten. Man überzeugt sich leicht, dass die in Cuxhaven beobachteten Winde keine gleich ungezwungene Erklärung an die Hand geben, und wenn es möglich wäre, auch die Windstärken in Betracht zu ziehen, so würden wahrscheinlich auch die Helgolander Winde einen noch befriedigenderen Aufschluss über die Veränderungen des Wasserstandes in Cuxhaven geben. Einzelne Fälle, wie sie für den Ostwind schon angeführt sind, lassen sich auch leicht für den Westwind hervorheben: z. B. am 7. und 8. December wurde auf Helgoland W.-N.-W. und N.-W.-Sturm (anzunehmen zu 14 m pr. Sekunde) beobachtet, während in Cuxhaven nur sehr mässiger W.-S.-W.-Wind von 6 m pr. Sekunde wehte; das Wasser in Cuxhaven stieg im Durchschnitt dieser beiden Tage 0,9 m über den normalen Stand, wodurch allein schon der mittlere Wasserstand des Winters um 0,02 m gehoben wurde. Nichtsdestoweniger kommen auch Fälle vor, in denen selbst die Winde auf Helgoland nicht als maassgebend für die Cuxhavener Wasserstände betrachtet werden dürfen. Z. B. am 26. Januar 1877 blieb das Niedrigwasser in Cuxhaven nach Mittag 0,8 m über der berechneten Höhe, obgleich in Cuxhaven, auf Helgoland, Sylt und Borkum während des ganzen Tages starker Ost- bis Südostwind wehte, der auch am Tage vorher, wenn schon schwächer, geherrscht hatte. Nur vom Helder ward am 26. Morgens »N.-W. z. W. frische Brise« gemeldet, und man muss annehmen, dass diese, vielleicht zeitweilig der Elbe sich nähernd, eine vorübergehende Erhebung des Wasserspiegels bewirkt hat.

Soviel geht aus diesen Untersuchungen mit Sicherheit hervor, dass man die Winde und Wasserstände in Cuxhaven nicht ohne Weiteres mit einander vergleichen darf, und es wird nur zulässig sein, relative Vergleiche zwischen ihnen anzustellen. Mit dieser Beschränkung werden die Erklärungen stets befriedigend ausfallen, und ich gehe dazu über, die Winde und Wasserstände einzelner Monate, Jahre und Jahrreihen mit den aus längeren Perioden gewonnenen Mittelzahlen zu vergleichen.

Die Winde in Cuxhaven werden zwei- oder dreimal am Tage zwischen Morgens fünf und Abends acht Uhr beobachtet, und da die Beobachtungen sich im Laufe der Jahre gleichmässig auf alle Monate und Tageszeiten vertheilen, so ist aus sämmtlichen Beobachtungen die nachstehende Tabelle gebildet.

Windrichtungen in Cuxhaven im Durchschnitt der Jahre 1843 bis 1875.

In Procenten der Zeit.

	NNO und NO	ONO und O	OSO und SO	SSO und S	SSW und SW	WSW und W	WNW und NW	NNW und N
Frühling (März-Mai)	10	17	8	7	11	14	19	14
Sommer (Juni-Aug.)	6	10	5	8	15	19	23	14
Herbst (Sebtbr.-Oct.)	7	12	11	15	23	14	9	9
Winter (Dec.-Febr.)	7	12	11	14	23	19	8	6
Jahr.....	7	13	9	11	18	16	15	11

Diese Tabelle ergiebt, ähnlich wie das Jahr 1874 allein, dass in jeder Jahreszeit die östliche und eine westliche Richtung am meisten hervortreten, dass aber die westliche stets überwiegt, und zwar im Frühling und Sommer die nordwestliche, im Herbst und Winter die südwestliche.

Die Winde vertheilen sich nach dem Maasse ihrer Schnelligkeit in den verschiedenen Jahreszeiten, wie die folgende Tabelle angiebt.

Windgeschwindigkeiten in Cuxhaven im Durchschnitt der Jahre 1843 bis 1875.

In Procenten der Zeit.

Geschwindigkeit in Meter pr. Sec.	still, flau 0 bis 4,3 m Mittel 2,15m	mässig, lebhaft 4,3—7,2 m 5,75 m	frisch, stark 7,2—11,5m 9,35 m	stürmisch 11,5—14,3 m 12,90 m	Sturm 14,3m u. mehr 16,5 m	Mittlere Geschwindigkeit
Frühling .	55	29	14,81	1,09	0,10	4,5 m
Sommer . .	58	30	11,17	0,76	0,07	4,2 m
Herbst . . .	56	29	13,43	1,37	0,20	4,3 m
Winter . .	52	31	15,11	1,60	0,29	4,6 m
Jahr . . .	55	30	13,63	1,20	0,17	4,4 m

Die Winde sind also, wie auch anderweitig schon bekannt, im Sommer am schwächsten, im Winter am stärksten; jedoch sind die Unterschiede nur in den »stürmischen« Winden und »Stürmen« sehr hervortretend, da erstere im Winter zweimal, letztere viermal so häufig sind wie im Sommer.

Die stürmischen Winde und Stürme wirken hauptsächlich auf den Wasserstand und sind deshalb nachstehend nochmals zusammengestellt, wobei jede einzelne Beobachtung für sich gerechnet ist, so dass, wenn z. B. an einem Tage dreimal Sturm beobachtet wurde — was freilich nur sehr selten vorkommt — dieser Tag mit der Zahl 3 in der Tabelle aufgenommen ward.

Stürmische Winde und Stürme in Cuxhaven in den Jahren 1843—1875.

	Frühling		Sommer		Herbst		Winter		Zusammen	
	Stürmisch	Sturm	Stürmisch	Sturm	Stürmisch	Sturm	Stürmisch	Sturm	Stürmisch	Sturm
N.-N.-O. u. N.-O. .	16	—	2	—	10	1	11	—	39	1
O.-N.-O. u. O.	17	—	—	—	19	3	18	1	54	4
O.-S.-O. u. S.-O. . .	1	—	—	—	7	—	—	—	8	—
S.-S.-O. u. S.	—	—	—	—	6	—	2	2	8	2
S.-S.-W. u. S.-W. .	2	—	9	2	16	5	10	2	37	9
W.-S.-W. u. W. . .	10	1	16	—	16	2	36	8	78	11
W.-N.-W. u. N.-W.	37	7	31	2	29	5	33	8	130	22
N.-N.-W. u. N. . . .	8	1	5	2	13	—	17	3	43	6
Summe	—	9	—	6	—	16	—	24	—	55
	91	—	63	—	116	—	127	—	397	—

Aus den Richtungen W.-S.-W. bis N.-W. weht mehr als die Hälfte aller stürmischen Winde und Stürme; von den letzteren liefern allein die Richtungen W.-N.-W. und N.-W. zwei Fünftel. Aus O.-S.-O. und S.-O. ist während der langen Jahrreihe kein Sturm beobachtet worden, aus N.-O. nur jener im November 1872.

Während derselben dreiunddreissig Jahre 1843 bis 1875 war in Cuxhaven das mittlere

Hochwasser . . . = 4,79 m am Fluthmesser,
Niedrigwasser . . = 1,98 m am Fluthmesser,

also die mittlere Fluthgrösse = 2,81 m. Zieht man siebenundvierzig Hundertstel der Fluthgrösse von der Hochwasserhöhe ab, so erhält man nach den Untersuchungen des vorigen Abschnittes den mittleren Wasserstand, der sich dadurch = 3,47 m am Fluthmesser ergiebt. Für die einzelnen Jahreszeiten findet man:

Mittlere Wasserstände in Cuxhaven. 1843—1875				
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Am Fluthmesser	3,37 m	3,50 m	3,51 m	3,47 m
Abweichung vom Jahresmittel	— 0,10 m	+ 0,03 m	+ 0,07 m	± 0 m

Diese dreiunddreissigjährigen Mittelwerthe der Winde und Wasserstände sollen nun als Maassstab zur Beurtheilung der Winde und Wasserstände kürzerer Perioden dienen, von denen ich mehre, durch hohe oder niedrige Wasserstände ausgezeichnete, anführen werde.

Die folgenden Monate zeichneten sich durch ungewöhnlich hohe Wasserstände aus.

Cuxhaven Monat	Mittlerer Wasserstand	Ueber dem mittleren Wasserstande 1843—75
December 1854	3,95 m am Fluthmesser	0,48 m (Winter)
December 1863	3,95 m „ „	0,48 m (Winter)
November 1866	3,89 m „ „	0,35 m (Herbst)

Gleichzeitige Winde.

Monat	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N.	Mittlere Schnelligkeit
December 1854 .	—	—	—	4	36	38	17	5	4,8 m
December 1863 .	1	2	6	4	10	43	25	9	6,3 m
November 1866 .	7	1	1	7	25	29	16	14	5,0 m
Winter 1843—75	7	12	11	14	23	19	8	6	4,6 m

In allen drei Monaten überwiegen die W.- und N.-W.-Winde in hohem Grade. Im December 1854 fehlen die Ostwinde vollständig. Im December 1863 sind sie zwar schwach vertreten, aber die ungewöhnliche Stärke der westlichen Winde, die sich in der grossen mittleren Windgeschwindigkeit des Monates ausspricht, genügt, um den Wasserstand des Monates ebenfalls um fast einen halben Meter über seine normale Höhe zu treiben. Der November 1866 ist in beiden Beziehungen weniger hervortretend und sein Wasserstand bleibt entsprechend niedriger.

Ungeachtet der stärkeren Wirkung der Westwinde im einzelnen Falle, laufen ihnen die Ostwinde durch ihre schon hervorgehobene Stetigkeit hinsichtlich andauernder Wirkungen den Rang ab; allerdings nur in sehr seltenen Fällen, welche, wie die Vorigen, stets in den Winter treffen.

Cuxhaven Monat	Mittlerer Wasserstand am Fluthmesser	Unter dem Winterwasserstande 1843—75
Januar 1848	2,85 m	0,62 m
December 1844	2,96 m	0,51 m
Februar 1870	3,04 m	0,43 m
Februar 1857.....	3,32 m	0,15 m
December 1848	3,34 m	0,13 m

Gleichzeitige Winde.

Monat	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Mittlere Schnelligkeit
Januar 1848	10	43	25	10	2	4	1	5	4,5 m
December 1844	10	62	6	5	6	6	3	2	5,7 m
Februar 1870 ..	6	17	30	14	13	13	5	2	4,0 m
Februar 1857 ..	7	12	16	28	24	12	—	1	2,1 m
December 1848 .	—	29	12	14	35	5	2	3	7,1 m
Winter 1843—75	7	12	11	14	23	19	8	6	4,6 m

Im Januar 1848 und December 1844, den beiden ersten der angeführten Monate, wehte volle drei Wochen Ost- und Südostwind, im Januar aber war der Südostwind stärker, der West- und Nordwestwind schwächer vertreten als im December, und deshalb sinkt sein Wasserstand 0,62 m, der des letzteren Monates nur 0,51 m unter den normalen. Der Februar des Jahres 1870 ist ähnlich, aber die Westwinde sind häufiger, die Windstärke ist geringer, daher die Senkung des Wasserspiegels nicht mehr als 0,43 m. — Die Monate Februar 1857 und December 1848 sind sehr merkwürdig, nicht wegen besonders niedriger Wasserstände, sondern wegen der Art, wie die niedrigen Wasserstände hervorgerufen wurden. In dem langen dreiunddreissigjährigen Zeitraume, dem sämmtliche Beispiele entnommen sind, war der Februar 1857 der windloseste, der December 1848 der windigste Monat. Im ersteren betrug die mittlere Windgeschwindigkeit nur 2,1 m pr. Sekunde, in dem anderen 7,1 m, ein enormer Unterschied, der noch mehr bei nachstehender Zusammenstellung in die Augen springt.

Cuxhaven Windstärken	still, flau	mässig, lebhaft	frisch, stark	stürmisch	Sturm
Februar 1857	92	8	—	—	—
December 1848	11	44	42,5	2,5	—
Winter 1843—75	52	31	15,11	1,60	0,29

Im Februar 1857 war es sechsundzwanzig Tage fast windstill, im December 1848 nur drei Tage. Im Februar 1857 kamen starke oder gar stürmische Winde gar nicht vor; im December 1848 dagegen, obgleich eigentliche Stürme auch fehlten, weht es stark oder stürmisch während vierzehn Tagen, also beinahe den halben Monat hindurch. Im December 1848 übertrafen die Ostwinde den Durchschnitt bedeutend und der mittlere Wasserstand blieb deshalb 0,13 m unter der normalen Höhe. Im Februar 1857 blieb er noch 0,02 m niedriger, obgleich in diesem Monate von einer Wirkung des Windes auf den Wasserspiegel nicht wohl die Rede sein konnte. Mit einem Winde von 2,1 m in der Sekunde kann ein tüchtiger

Fussgänger Schritt halten und solcher Wind kräuselt kaum die Wasserfläche. Also gerade die Windstille muss die Senkung des Wasserspiegels veranlasst oder vielmehr die sonst gewöhnliche Erhebung desselben verhindert haben, und man wird nicht weit fehlgreifen, wenn man behauptet, dass der Wasserspiegel bei Cuxhaven sich bei ewiger Windstille durchschnittlich um dieses Maass von 0,15 m niedriger stellen würde.

Die Wasserstände ganzer Jahre entfernen sich niemals soweit vom Mittel wie die einzelner Monate, weil ungewöhnliche Zustände der Atmosphäre sich nur in beschränktem Maasse über die Dauer eines vollen Jahres erstrecken.

Den abweichendsten Wasserstand von den dreiunddreissig Jahren hatte das Jahr 1863. Er war 3,57 m am Fluthmesser, also 0,10 m zu hoch. Die Winde dieses Jahres, mit dem dreiunddreissigjährigen Durchschnitt verglichen:

	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Mittlere Schnelligkeit
1863.....	4	6	10	10	17	23	21	9	4,9 m
1843—75.	7	13	9	11	18	16	15	11	4,4 m

zeigen auffallende Abweichungen. Die Ostwinde waren sehr selten, die West- und Nordwestwinde ganz ungewöhnlich häufig und auch die Schnelligkeit des Windes war besonders gross.

Aehnlich war der Wasserstand des Jahres 1868, nämlich 3,56 m am Fluthmesser, also 0,09 m über dem mittleren. Der Jahresdurchschnitt der Winde:

	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Mittlere Schnelligkeit
1868.....	8	11	11	12	14	16	19	9	4,4 m
1843—75.	7	13	9	11	18	16	15	11	4,4 m

zeigt ein mässiges Uebergewicht der Nordwestwinde, sonst nichts Auffallendes. Dagegen war der Winter dieses Jahres ungewöhnlich; sein Wasserstand war 3,68 m am Fluthmesser, erhöhte folglich den mittleren Wasserstand des Jahres allein schon 0,05 m. Unter den Winden des Winters:

	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Mittlere Schnelligkeit
Winter 1868	4	9	12	16	21	24	13	1	5,3 m
Winter 1843—75	7	12	11	14	23	19	8	6	4,6 m

waren die West- und Nordwestwinde sehr hervortretend, namentlich in den stärkeren Winden, wodurch die mittlere Geschwindigkeit der Winde des ganzen Winters um 0,7 m erhöht ward.

Andere Jahre mit weniger abweichendem Wasserstande zeigen grössere Abweichungen in den Winden als das eben erwähnte. Der mittlere Wasserstand des Jahres 1861 war 3,50 m am Fluthmesser, also nur 0,03 m über dem Mittel, und doch finden wir in den Winden dieses Jahres:

	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Mittlere Schnelligkeit
1861.....	7	7	10	7	18	22	21	8	4,1 m
1843—75.	7	13	9	11	18	16	15	11	4,4 m

die östliche Richtung nur schwach, die Richtungen West und Nordwest sehr stark vertreten. Die mittlere Windgeschwindigkeit war jedoch nur gering.

Den niedrigsten Wasserstand der Jahre 1843 bis 1875 hatte das Jahr 1857. Er war 3,38 m am Fluthmesser, also 0,09 m unter dem normalen. Die Winde dieses merkwürdigen Jahres:

	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Mittlere Schnelligkeit
1857.....	8	17	10	12	21	11	9	12	3,0 m
1843—75.	7	13	9	11	18	16	15	11	4,4 m

wehen zwar selten aus West und Nordwest, und häufig aus Osten, aber hauptsächlich zeichnen sie sich aus, wenn auch nicht in dem Maasse wie im Februar desselben Jahres, durch ihre geringe Geschwindigkeit, die nur zwei Drittel der normalen betrug. Wie gross dieser Unterschied ist, wird durch die Trennung der Winde nach ihrer Stärke ersichtlich:

	still, flau	mässig, lebhaft	frisch, stark	stürmisch	Sturm
1857.....	80	16	4	—	—
1843—75.....	55	30	13,63	1,20	0,17

Es ist dies das einzige Jahr in der langen Reihe, in dem nicht ein einziges Mal stürmischer Wind beobachtet wurde, in dem selbst die starken Winde auf weniger als ein Drittel der gewöhnlichen Anzahl beschränkt blieben, was um so einflussreicher erscheint, wenn man bedenkt, dass die Wirkung des Windes mit dem Quadrate seiner Geschwindigkeit zu- und abnimmt. Der niedrige Wasserstand des Jahres wird also hauptsächlich dem Mangel an Wind zuzuschreiben sein, was dadurch um so wahrscheinlicher wird, dass auch der Stand der Ostsee an der deutschen Küste ein ungewöhnlich niedriger in diesem Jahre war, denn er blieb im Durchschnitte der oben erwähnten zwölf Stationen um 0,07 m unter dem mittleren Stande der Jahre 1846 bis 1861.

Ein anderes Jahr mit ungewöhnlich niedrigem Wasserstande in Cuxhaven war das Jahr 1875. Der Wasserstand desselben war 3,39 m am Fluthmesser, also 0,08 m unter dem Mittel. In diesem

	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Mittlere Schnelligkeit
1875.....	9	21	9	6	13	14	18	10	4,8 m
1843—75.	7	13	9	11	18	16	15	11	4,4 m

Jahre, eine grosse Seltenheit, fiel das Maximum der Winde aus einer Richtung auf Osten, aber da das zweite Maximum, ebenfalls eine Seltenheit, auf Nordwesten fiel, so könnte man glauben, die Wirkungen dieser beiden Winde hätten sich ausgeglichen. Von den Nordwestwinden fiel jedoch die Hälfte, die stärkeren fast alle, in den Frühling, und da sie in dieser Jahreszeit, nach den vorher gegebenen Erläuterungen, meistenstheils nicht zu den das Wasser hebenden Winden gerechnet werden dürfen, so ist der niedrige Wasserstand des Jahres völlig begreiflich.

Einen entschiedenen Gegensatz zum Jahre 1857 bildet in Bezug auf den Wind das Jahr 1849. Der Wasserstand dieses Jahres war 3,44 m am Fluthmesser, also 0,03 m unter dem normalen. Sowohl die Ost- wie die Westwinde:

	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Mittlere Schnelligkeit
1849.....	6	20	6	9	17	19	11	12	6,0 m
1843—75.	7	13	9	11	18	16	15	11	4,4 m

waren ungewöhnlich stark vertreten und dem Ueberwiegen der ersteren ist die unbedeutende Senkung des Wasserspiegels zuzuschreiben. Das Ausserordentliche des Jahres liegt aber in der grossen mittleren Windgeschwindigkeit, welche das dreiunddreissigjährige Mittel um mehr als ein Drittel übertraf. Obgleich kein eigentlicher Sturm beobachtet wurde:

	still, flau	mässig, lebhaft	frisch, stark	stürmisch	Sturm
1849.....	34	34	27,30	4,70	0
1843—75.....	55	30	13,63	1,20	0,17

so erreichten doch die stürmischen Winde fast das Vierfache, die starken das Doppelte des Durchschnittes. Dabei vertheilen sich, wie gewöhnlich, die Windrichtungen verschieden auf die einzelnen Monate, so dass ungewöhnlich niedrige mit ungewöhnlich hohen Monatsmitteln in den Wasserständen abwechseln, und das Resultat dieser Schwankungen hätte unter ganz ähnlichen Verhältnissen auch eine Erhebung des Wasserspiegels sein können.

Vergleicht man die mittleren Wasserstände von Jahrreihen mit einander, so findet man noch geringere Unterschiede zwischen ihnen, als zwischen denen einzelner Jahre. In den vier- bis sechsjährigen Perioden, in die nachstehend die Cuxhavener Wasserstände der dreiunddreissig Jahre beliebig getheilt sind:

Cuxhaven	Mittlerer Wasserstand am Fluthmesser	Abweichung vom Mittel 1843—75
1843—1846...	3,48 m	+ 0,01 m
1847—1851...	3,45 m	— 0,02 m
1852—1855...	3,46 m	— 0,01 m
1856—1861...	3,45 m	— 0,02 m
1862—1865...	3,47 m	± 0
1866—1870...	3,52 m	+ 0,05 m
1871—1875...	3,46 m	— 0,01 m

steigt die Abweichung vom mittleren Wasserstande nur einmal auf 0,05 m. Diese entsteht dadurch, dass vier Jahre mit ungewöhnlich hohen Wasserständen auf einander folgten, nämlich die Jahre 1866 bis 1869. In diesen Jahren waren, wie aus der folgenden Zusammenstellung hervorgeht:

	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Mittlere Schnelligkeit
1866—69.	7	10	10	11	16	17	20	9	4,4 m
1843—75.	7	13	9	11	18	16	15	11	4,4 m

die Winde aus Osten selten, aus Nordwesten häufig, wodurch auch diese Abweichung alles Auffällige verliert. Man könnte eine andere Jahrreihe mit besonders niedrigen Wasserständen aussuchen — z. B. 1855—58 war der Wasserstand 0,05 m unter dem Mittel — die sich in ähnlicher Weise aus den gleichzeitigen Winden erklären lassen würden.

Von anderen Küstenpunkten besitze ich nicht die Beobachtungen in der erforderlichen Vollständigkeit, um für sie den Zusammenhang zwischen ihren Winden und Wasserständen nachweisen zu können. Es ist aber kein Grund vorhanden, der für irgend einen Küstenpunkt wesentlich andere Resultate erwarten liesse. Die Abweichung der Wasserstände einzelner Jahre vom vieljährigen Mittel ist an anderen Orten nicht viel grösser oder kleiner als in Cuxhaven, wie die umstehend für mehrere Küstenpunkte angeführten Abweichungen beweisen. Selbstverständlich ist dadurch nicht ausgeschlossen, dass in anderen Klimaten unter ganz anderen Witterungsverhältnissen, auch ganz andere Abweichungen vorkommen können. Ich versuche nicht, die hier angeführten Abweichungen im Einzelnen zu erklären, sondern bemerke nur, dass die Orte sämmtlich so liegen, dass der Westwind im Allgemeinen ihre Wasserstände erhöht. Da dies aber überall mehr oder weniger mittelbar, mehr bei dieser oder jener Richtung geschieht, auch die Winde zwischen Memel, Liverpool und dem Helder oft sehr verschieden sein werden, so sind auch die Abweichungen oft merklich von einander verschieden, obgleich sie in manchen Jahren z. B. in dem wegen seiner Windlosigkeit ausgezeichneten Jahre 1857 — an allen aufgeführten Küstenpunkten in demselben Sinne auftreten. Für Liverpool kann ich noch das Resultat einer Untersuchung über die Veränderungen des mittleren Wasserstandes während einer vierzehntägigen Periode mittheilen.

Abweichungen vom mittleren Wasserstande						
der Jahre	1843—75	1854—73	1851—75	1848—74	1848—74	1848—74
im Jahre	Cuxhaven*)	Liverpool	Helder	Travemünde	Stolpmünde	Memel
1848	— 0,06 m	—	—	0	— 0,03 m	— 0,05 m
1849	— 0,03 m	—	—	+ 0,07 m	+ 0,05 m	+ 0,05 m
1850	+ 0,04 m	—	—	+ 0,03 m	+ 0,05 m	+ 0,06 m
1851	+ 0,01 m	—	+ 0,02 m	+ 0,05 m	0	+ 0,04 m
1852	+ 0,04 m	—	+ 0,05 m	0	— 0,04 m	+ 0,01 m
1853	— 0,07 m	—	0	+ 0,03 m	— 0,04 m	— 0,07 m
1854	+ 0,06 m	— 0,05 m	+ 0,06 m	+ 0,05 m	+ 0,08 m	+ 0,09 m
1855	— 0,05 m	— 0,07 m	— 0,04 m	0	— 0,02 m	— 0,01 m
1856	— 0,01 m	— 0,03 m	0	0	+ 0,03 m	+ 0,01 m
1857	— 0,09 m	— 0,04 m	— 0,04 m	— 0,05 m	— 0,09 m	— 0,09 m
1858	— 0,05 m	— 0,07 m	— 0,03 m	+ 0,01 m	0	+ 0,01 m
1859	+ 0,03 m	0	+ 0,03 m	+ 0,03 m	+ 0,02 m	+ 0,03 m
1860	— 0,02 m	0	+ 0,01 m	— 0,02 m	— 0,10 m	— 0,07 m
1861	+ 0,03 m	— 0,01 m	+ 0,02 m	— 0,01 m	— 0,06 m	+ 0,02 m
1862	— 0,01 m	0	+ 0,02 m	— 0,05 m	— 0,08 m	— 0,08 m
1863	+ 0,10 m	— 0,06 m	+ 0,04 m	— 0,01 m	+ 0,07 m	+ 0,07 m
1864	— 0,06 m	— 0,06 m	— 0,07 m	— 0,05 m	0	— 0,01 m
1865	— 0,03 m	— 0,06 m	— 0,06 m	— 0,05 m	— 0,04 m	— 0,07 m
1866	+ 0,08 m	+ 0,01 m	+ 0,07 m	— 0,07 m	+ 0,05 m	+ 0,07 m
1867	+ 0,08 m	+ 0,07 m	+ 0,02 m	+ 0,03 m	+ 0,09 m	+ 0,08 m
1868	+ 0,09 m	+ 0,16 m	+ 0,02 m	+ 0,03 m	+ 0,07 m	+ 0,06 m
1869	+ 0,06 m	+ 0,04 m	+ 0,02 m	0	+ 0,05 m	+ 0,01 m
1870	— 0,03 m	— 0,01 m	— 0,04 m	— 0,02 m	— 0,04 m	— 0,08 m
1871	— 0,03 m	+ 0,04 m	— 0,05 m	— 0,03 m	— 0,05 m	— 0,06 m
1872	+ 0,04 m	+ 0,18 m	+ 0,01 m	— 0,05 m	— 0,08 m	— 0,09 m
1873	— 0,01 m	— 0,02 m	+ 0,02 m	— 0,05 m	+ 0,02 m	+ 0,02 m
1874	+ 0,04 m	—	0	+ 0,03 m	+ 0,05 m	+ 0,08 m
1875	— 0,08 m	—	— 0,05 m	—	—	—

*) 1843 + 0,01 m. 1844 — 0,02 m. 1845 + 0,02 m. 1846 + 0,03 m. 1847 — 0,05 m.

Der untersuchte Zeitraum, vom 24. April 4^h 30′ p. m. bis zum 7. Mai 2^h 45′ a. m. 1869, umfasste vierundzwanzig Tiden, deren Dauer, Hochwasser, Niedrigwasser und Fluthgrösse, im Durchschnitte je zweier auf einander folgenden Tiden, in den vier ersten Spalten der nachstehenden Tabelle enthalten ist. Die fünfte Spalte enthält für jedes Tidenpaar die Abweichung seines mittleren Wasserstandes vom mittleren Wasserstande der ganzen Periode. Die sechste Spalte giebt den Unterschied zwischen den beobachteten und berechneten — aus den englischen Admiralitäts-Tidetafeln entnommenen — Hochwasserhöhen, und die siebente Spalte giebt an, um wieviel Tausendstel der Fluthgrösse der mittlere Wasserstand unter Hochwasser liegt.

Aus der fünften Spalte sieht man, dass der mittlere Wasserstand der einzelnen Tidenpaare von einem halben Fuss unter bis zu dreiviertel Fuss über dem mittleren Wasserstande der vierzehn Tage schwankt, aber diese, fraglos durch den Wind bewirkten Schwankungen sind regellos und viel bedeutender als das Maas, um welches der mittlere Wasserstand im Verhältnisse zur ganzen Fluthcurve sich ändert. Letzterer liegt durchschnittlich 512 Tausendstel der Fluthgrösse unter Hochwasser, schwankt aber nur um acht bis neun Tausendstel während der vierzehn Tage, also etwa um $2^1/_4$ Zoll, und dass hierin Schwankungen überhaupt vorkommen, ist unausbleiblich, da ja der Wind nothwendigerweise bald an dieser, bald an jener Stelle der Fluthcurve stärker wirken muss. Eine bemerkenswerthe Bestätigung für die Entstehungsart der Schwankungen des mittleren Wasserstandes liegt in den Zahlen der sechsten Spalte, welche die Unterschiede zwischen den berechneten und den beobachteten Hochwasserhöhen angeben, denn sie weichen der Regel nach durchaus in demselben Sinne ab, wie der mittlere Wasserstand, und die Zahlen der fünften und sechsten Spalte würden noch besser mit einander übereinstimmen, wenn auch eine Berechnung der Niedrigwasserhöhen vorläge. Indess auch ohnedies muss die Uebereinstimmung höchst befriedigend genannt werden, wobei noch hervorzuheben ist, dass ein Zusammenhang zwischen den enormen Aenderungen der Fluthgrösse und den gleichzeitigen Schwankungen des mittleren Wasserstandes offenbar in keiner Weise stattfindet.

Als Kräfte, welche zeitweilige Veränderungen in der Höhe des Meeresspiegels hervorbringen müssen, werden häufig der Luft-

Liverpool.

1. 1869	2. Hochwasser-höhe	3. Niedrig-wasserhöhe	4. Fluth-grösse	5. Mittlerer Wasserstand	6. Hochwasser-höhe gegen Berechnung	7. mittl. Wasser-stand unter Hochwasser
April 24. 4h 30′. p. m. — April 25. 5 h30′ p. m.	+ 14,56′	— 13,44′	28,00′	+ 0,18′	0,16′	0,514
„ 25. 5h 30′. p. m. — „ 26. 6h — p. m.	+ 15,16′	— 14,59′	29,75′	— 0,17′	— 0,12′	0,515
„ 26. 6h — p. m. — „ 27. 7h — p. m.	+ 15,26′	— 14,76′	30,02′	— 0,36′	— 0,32′	0,520
„ 27. 7h — p. m. — „ 28. 7h 30′ p. m.	+ 14,71′	— 14,74′	29,45′	— 0,25′	— 0,49′	0,508
„ 28. 7h 30′ p. m. — „ 29. 8h — p. m.	+ 13,61′	— 14,14′	27,75′	— 0,42′	— 0,59′	0,506
„ 29. 8h — p. m. — „ 30. 8h 45′ p. m.	+ 12,61′	— 12,62′	25,23′	— 0,22′	— 0,05′	0,508
„ 30. 8h 45′ p. m. — Mai 1. 9h 15′ p. m.	+ 11,36′	— 10,86′	22,22′	+ 0,18′	+ 0,41′	0,503
Mai 1. 9h 15′ p. m. — „ 2. 10h — p. m.	+ 9,76′	— 8,84′	18,60′	+ 0,20′	+ 0,56′	0,514
„ 2. 10h — p. m. — „ 3. 11h 15′ p. m.	+ 7,96′	— 7,39′	15,35′	+ 0,05′	+ 0,18′	0,515
„ 3 11h 15′ p. m. — „ 5. 0h 30′ a. m.	+ 6,76′	— 6,79′	13,55′	— 0,15′	— 0,22′	0,510
„ 5. 0h 30′ a. m. — „ 6. 1h 45′ a. m.	+ 7,21′	— 6,49′	13,70′	+ 0,20′	— 0,02′	0,512
„ 6. 1h 45′ a. m. — „ 7. 2h 45′ a. m.	+ 8,61′	— 6,66′	15,27′	+ 0,76′	+ 0,46′	0,514
April 24. 4h 30′ p. m. — Mai 7. 2h 45′ a. m.	+ 11,46′	— 10,94′	22,40′	0	0	0,5116

druck und die Wärme genannt, und in Bezug auf den ersteren wird sogar behauptet, dass Gelehrte aus Vergleichen zwischen den Aenderungen des Luftdruckes und der Höhe des Meeresspiegels, das richtige Verhältniss des specifischen Gewichtes des Wassers zu dem des Quecksilbers abgeleitet hätten. Nach meiner Ansicht dürfte dies mit ausserordentlichen Schwierigkeiten verbunden sein. Wenn der Luftdruck an verschiedenen Küstenpunkten desselben Meeres verschieden ist, so wird zweifellos das Wasser gezwungen werden, sich mit dem Luftdruck in's Gleichgewicht zu setzen; da aber die Luft selbst nach dem Gleichgewichte strebt, so werden gewöhnlich Luft und Wasser gleichzeitig nach dem Orte des niedrigsten Druckes hinfliessen, und es ist genugsam bekannt, dass jede Windrichtung der Regel nach mit ganz bestimmten Barometerständen verbunden ist. Z. B. während der Sturmfluth am Morgen des 13. Novembers 1872 stand das Barometer auf Rügen 17 Pariser Linien oder 0,039 ^{m} niedriger als im nördlichsten Theile der Ostsee und da das Quecksilber ungefähr 13$^{1}/_{2}$mal schwerer ist als das Ostsee-Wasser, so musste der Wasserstand bei Rügen, in Folge der Differenz im Luftdrucke, um 13,5 × 0,039 ^{m} = 0,53 ^{m} höher werden als in jenem Theile der Ostsee. Zu dieser Zeit überstieg aber das Wasser bei Rügen, durch den Sturm aufgetrieben, seine mittlere Höhe um mehr als zwei Meter, und die Frage bleibt offen, wieviel und ob überhaupt etwas von diesen zwei Metern auf Rechnung des Luftdruckes zu setzen ist. Aehnlich wird die Sache in den meisten Fällen liegen, und nur durch umfassende und zahlreiche Beobachtungen ringsum an den Küsten eingeschlossener Meere, würde es vielleicht möglich sein, die Wirkungen des Luftdruckes von denen des Windes zu trennen. Bei den bisherigen Versuchen, die Wirkungen des Luftdruckes auf den Wasserspiegel nachzuweisen, ist diese Trennung meines Wissens nicht vorgenommen und für die Entscheidung der eigentlichen Frage werden sie deshalb wenig oder gar nicht ins Gewicht fallen.

Noch weniger sind wir im Stande, entscheidende Thatsachen über die Wirkungen der Wärme auf die Höhe des Meeresspiegels beizubringen. Es würden dazu Bestimmungen der mittleren Meerestemperatur an vielen Stellen des Oceans in verschiedenen Jahreszeiten erforderlich sein, die wir bis jetzt nicht besitzen. Bei der grossen Tiefe des Meeres würden sich wahrscheinlich grosse Unterschiede im Laufe des Jahres nicht herausstellen und dann

könnten auch die dadurch in der Höhe des Meeresspiegels hervorgebrachten Aenderungen nur unbedeutend sein. Die mit den Jahreszeiten wechselnde Verdunstung und Regenmenge muss ebenfalls die Höhe des Meeresspiegels beeinflussen, aber gewiss weder in nachweisbarem, noch in irgendwie erheblichen Maasse.

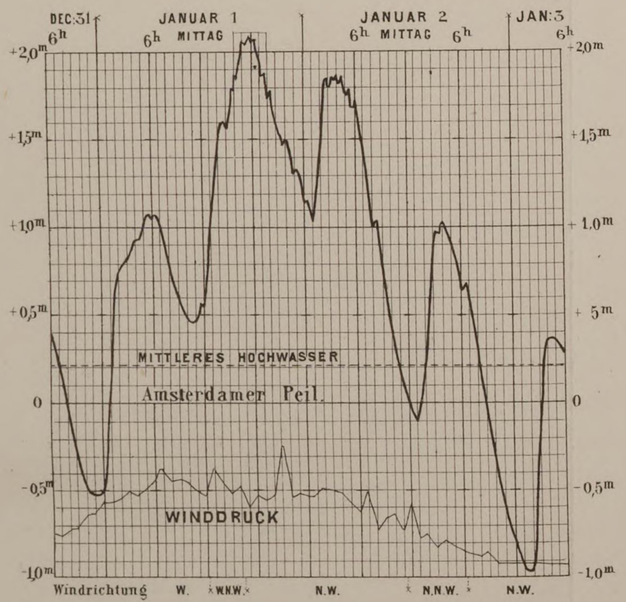
Ebensowenig, wie wir regelmässige Schwankungen von langer Dauer oder allmählige Veränderungen in der Höhe des Meeresspiegels an unseren Küsten während der letzten dreissig Jahre aufzufinden vermochten, ebensowenig scheinen solche im Laufe der letzten Jahrhunderte stattgefunden zu haben. Hagen theilt in seiner Wasserbaukunst mit, er habe im Jahre 1844 auf Veranlassung Alexander v. Humboldt's untersucht, ob in der Höhe des Meeresspiegels an der preussischen Ostseeküste Veränderungen vorgegangen seien. Zu dem Zwecke habe er die in den preussischen Seehäfen seit dem Jahre 1811 beobachteten Wasserstände mit einander verglichen und nirgends eine Aenderung constatiren können. Nur in Memel habe sich anscheinend eine Hebung des Landes von drei und einem halben Fuss in hundert Jahren herausgestellt, die aber, wie weitere Nachforschungen ergeben hätten, ihre Ursache einzig und allein in einer durch das Eis bewirkten Hebung des zum Ablesen der Wasserstände benutzten Pegels gehabt habe. Eine spätere Vergleichung der Memeler Beobachtungen der Jahre 1831 bis 1843 mit denen der Jahre 1846 bis 1861 habe auch ebenfalls für Memel die Unveränderlichkeit des Wasserstandes dargethan. Ausserdem seien in den niedrig gelegenen Städten Danzig und Königsberg genügende Merkmale vorhanden, um behaupten zu können, dass ihre Höhenlage gegen den Spiegel der See sich seit einem halben Jahrtausend nicht wahrnehmbar verändert habe und derselbe Nachweis lasse sich in Petersburg und Kronstadt mindestens für die letzten zwei Jahrhunderte führen.

Für die Unveränderlichkeit des Spiegels der Nordsee liegen ähnliche Zeugnisse vor, und, wenn wir von den im Laufe der Jahrtausende vielleicht eintretenden Aenderungen absehen, haben wir allen Grund, um zu schliessen: das Meer wird durch die von den Gestirnen und durch die vom Winde erregten Wellen in zeitweilige Schwankungen versetzt, ohne dass weder diese noch andere Ursachen seine mittlere Höhe dauernd zu ändern vermöchten.

Figur 42.

FLUTHCURVEN vom HELDER

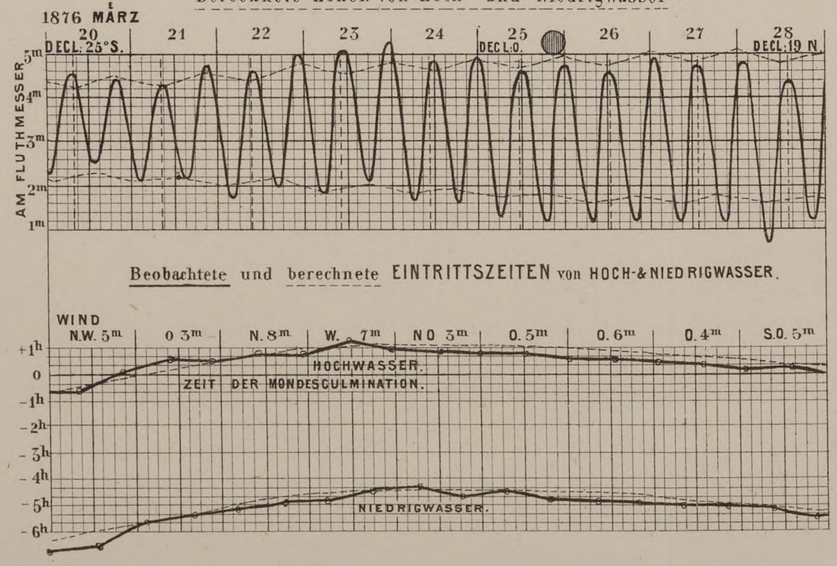
1854.



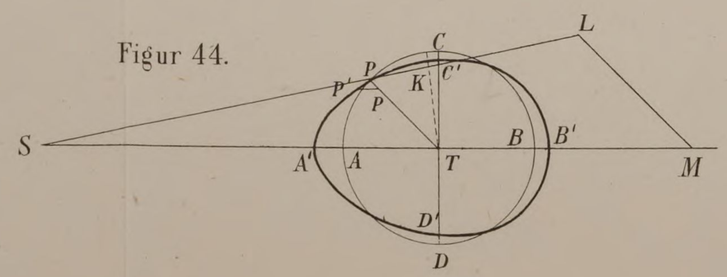
Figur 43.

FLUTHCURVEN von CUXHAVEN.

Berechnete Höhen von Hoch- und Niedrigwasser



Figur 44.



Wilh. Fenck, Lith. Anstalt, Hamburg.

IV.

Vergleiche und Schlüsse.

Die Bedingungen, unter denen die nach Newton's Anleitung im I. Abschnitte entwickelten, theoretischen Tiden entstehen, finden sich auf unserer Erde nur zum kleineren Theile verwirklicht. Wenn die Fluthwelle auf dem hypothetischen Wassersphäroid um einen Erdquadranten fortschreitet, so müssen gleichzeitig, allein zwischen dem funfzigsten Grade südlicher und nördlicher Breite, sechstausend Cubikmeilen Wasser aus einem Erdquadranten in den anderen übertreten; aber auf der von uns bewohnten Erde erstrecken sich stellenweise die Continente über diese ganze Ausdehnung und verhindern jegliche Bewegung des Wassers in der Richtung der Breitengrade. Man bemerkt auch deshalb schon auf den ersten Blick die grössten Unterschiede zwischen den theoretischen und den natürlichen Tiden: in der Theorie ändern sich die Tiden von einem Breitengrade zum andern und die auf dem Aequator sind denen auf dem funfzigsten Breitengrade kaum noch ähnlich; in der Natur dagegen finden wir bisweilen, z. B. im Atlantischen Ocean, die Tiden auf einer Fläche von hundert Breitengraden Ausdehnung vollkommen einförmig, und die verhältnissmässig geringen Unterschiede, welche sich an verschiedenen Küstenpunkten zwischen ihnen nachweisen lassen, scheinen durch andere Ursachen als durch das Maass der geographischen Breite hervorgerufen zu sein.

Man hat deshalb schon seit langer Zeit eingesehen, dass die natürlichen Tiden nicht ganz auf dieselbe Weise wie die theoretischen Tiden entstehen können, aber verführt durch die unleugbaren Aehnlichkeiten zwischen ihnen, scheint man sich trotzdem gewissermaassen daran gewöhnt zu haben, beide als in der Hauptsache übereinstimmend zu betrachten. Diese Uebereinstimmung kann jedoch nur eine scheinbare sein, und es sollen im Folgenden die Eigenschaften der theoretischen mit denen der natürlichen Tiden der Reihe nach verglichen werden, um sowohl die Aehnlichkeiten bestimmen, wie um das Maass und die Tragweite der Abweichungen ermitteln zu können. Der Inhalt der vorigen Abschnitte wird den Stoff zu diesen Vergleichen liefern und obgleich demnach nur Bekanntes vorgeführt werden kann, so wird doch dasselbe aus dem

neuen Gesichtspunkte in einem anderen Lichte erscheinen und es werden sich daraus Folgerungen ergeben, welche unsere ganze Auffassung von den Flutherscheinungen umzugestalten geeignet sind.

Am hervortretendsten und allgemein bekannt sind die Aehnlichkeiten zwischen den theoretischen Aequatorialtiden und den Tiden des Atlantischen Oceans. Bei ihnen stimmen namentlich die Fluthcurven gewöhnlich überein und auch das Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth ist bei Beiden ein ähnliches. Dadurch gestaltet sich die Abhängigkeit der Höhen und Eintrittszeiten des Hoch- und Niedrigwassers vom Mondesalter in der Natur ähnlich wie in der Theorie, und wir finden in unseren Tiden deshalb nicht nur die Spring- und Taubenfluthen wie in der Theorie, sondern auch den Uebergang von den einen zu den andern. Ebenfalls die Entfernung und Declination des Mondes bringt in beiden Fällen ähnliche Wirkungen hervor und in Folge dessen sind in den Tiden des Atlantischen Oceans die Aequinoctial- von den Solstitialtiden deutlich zu unterscheiden.

Die Summe dieser Aehnlichkeiten ist so gross, dass ein oberflächlicher Beobachter überhaupt keine Unterschiede findet; trotzdem sind diese vorhanden und sogar von überwiegender Wichtigkeit. Es ist aber nicht wohl möglich, sie in gleicher Weise wie die Aehnlichkeiten kurz aufzuzählen, sondern sie müssen getrennt nach besonderen Eigenschaften der Tiden einzeln namhaft gemacht werden.

Die Fluthgrösse.

In der Theorie ist die Höhe der Fluthwelle auf dem Aequator am grössten und nimmt von hier bis zu den Polen hin allmählig und regelmässig ab. In der Natur vermögen wir kein die Fluthgrösse regelndes Gesetz aufzufinden und am allerwenigsten eine Abhängigkeit derselben von der geographischen Breite. In dieser Beziehung ist also durchaus keine Uebereinstimmung zwischen Theorie und Natur vorhanden; da aber die Fluthgrösse auf offenem Meere uns unbekannt ist, und in der Nähe des Landes offenbar durch die Form der Küsten und des Meeresgrundes bedingt wird, so wissen wir von der Fluthgrösse im Allgemeinen überhaupt noch sehr wenig und den vorhandenen Beobachtungen über das Maass derselben, insofern sie von der Theorie abweichen, können wir keine grundsätzliche Bedeutung beilegen.

Einfluss der wechselnden Entfernung und Declination des Mondes.

Die Entfernung des Mondes wirkt in der Natur ebenso wie in der Theorie: je näher der Mond, je grösser die von ihm erzeugte Welle; nur sind die dadurch in der Natur hervorgebrachten Unterschiede viel geringer als sie der Theorie nach sein sollten, denn z. B. in Cuxhaven werden durch die verschiedenen Monddistanzen nur Schwankungen von 0,33 m in der Fluthgrösse hervorgebracht, während sie 1,02 m betragen sollten. Dabei ist aber auch wiederum hervorzuheben, dass die an den Küsten beobachtete Welle vorher schon Veränderungen erlitten hat, weshalb die auf die ursprüngliche Welle ausgeübten Wirkungen der Monddistanz verhältnissmässig viel bedeutender, also mit der Theorie übereinstimmender gewesen sein können.

Die Declination des Mondes wirkt nach der Theorie zweifach: erstens verändert sie die durchschnittliche Höhe und Eintrittszeit zweier aufeinander folgenden Tiden und zweitens bringt sie zwischen je zwei aufeinander folgenden Tiden jene Unterschiede hervor, welche wir unter dem Namen der täglichen Ungleichheit kennen lernten. Beiderlei Wirkungen finden wir auch in der Natur, jedoch in einer von der Theorie abweichenden Weise. In ersterer Beziehung soll die Fluthgrösse mit wachsender Declination sich vermindern, indem hauptsächlich die Hochwasserhöhe abnimmt, die Niedrigwasserhöhe aber wenig geändert wird, und ferner sollen die Eintrittszeiten des Hochwassers durch die Wirkung der Sonne um so stärker abgelenkt werden, je grösser die Mondesdeclination ist. Nach den Cuxhavener Tiden zu urtheilen, verringert sich nun zwar die Fluthgrösse um somehr, je stärker die Mondesdeclination ist, aber diese Verringerung wird zu drei Vierteln durch eine Erhöhung des Niedrigwassers und nur zu einem Viertel durch eine Senkung des Hochwassers hervorgebracht. Ebenfalls ändern sich auch die Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser, aber sie verspäten sich sämmtlich bei geringer Mondesdeclination und verfrühen sich bei starker, während sie sich nach der Theorie im ersteren Falle im Sinne einer flacher gekrümmten Curve der halbmonatlichen Ungleichheit der Zeit, im zweiten Falle im Sinne einer stärker gekrümmten, abwechselnd verfrühen und verspäten sollten. Auch auf diese Abweichungen ist jedoch wenig Gewicht zu legen, weil es sich dabei nur um geringe Maassunterschiede handelt.

In Beziehung auf die tägliche Ungleichheit begegnen wir wichtigeren Abweichungen. In der Natur scheint der Mond überall eine tägliche Ungleichheit hervorzubringen, während dies nach der Theorie auf dem Aequator niemals vorkommen kann; aber nirgends scheint der Mond sie, auch nur dem Sinne nach, in irgend einer der von der Theorie vorgeschriebenen Formen hervorzubringen. Wir finden allerdings in der Natur wie in der Theorie den Parallelismus zwischen den täglichen Ungleichheiten, einerseits den in der Höhe des Hochwassers und in der Zeit des Niedrigwassers, andererseits den in der Zeit des Hochwassers und in der Höhe des Niedrigwassers; ferner die Aenderungen im Betrage der täglichen Ungleichheiten je nach Entfernung und Alter des Mondes; aber das nach der Theorie mit dem Wechsel in der Richtung der Mondesdeclination gleichzeitig erfolgende Umspringen und die damit verbundene Aenderung in der Reihenfolge der höheren und niedrigeren Hoch- und Niedrigwasser, das suchen wir vergeblich in der Natur. Auch die Aenderungen im Betrage der täglichen Ungleichheit, welche sich in der Theorie gesetzmässig von einem Breitengrade zum andern vollziehen, finden wir in der Natur nirgends auch nur angedeutet. Beispielsweise ist längs der Küsten des ganzen Atlantischen Oceans die tägliche Ungleichheit dem Betrage nach überall fast genau dieselbe, während die Zeitpunkte ihres Umspringens von Ort zu Ort sich ändern, so dass also gerade das constant ist, was nach der Theorie veränderlich sein sollte, und das veränderlich, was constant sein sollte.

Einfluss der wechselnden Entfernung und Declination der Sonne.

Die Entfernung der Sonne wirkt, nach den Cuxhavener Tiden zu urtheilen, theoretisch richtig auf die Fluthgrösse, aber drittehalb mal stärker als nach der Theorie zu erwarten wäre, und in Folge dessen wird die Fluthgrösse in Cuxhaven durch die Aenderungen in der Sonnenentfernung zweimal so stark beeinflusst als durch die Aenderungen in der Mondentfernung. Auch die Declination der Sonne wirkt auf die Fluthgrösse viel stärker, als sie der Theorie nach sollte, und zugleich wirkt sie der Theorie widersprechend. Auf dem Aequator und auch auf allen übrigen Breitengraden innerhalb der Polarkreise erreicht nach der Theorie die Sonnenfluth-

grösse im Durchschnitte zweier aufeinander folgenden Tiden ihren höchsten Werth, wenn die Sonne sich in der Aequatorebene befindet, und sie nimmt um so mehr ab, je mehr die Sonne declinirt, einerlei ob die Richtung der Declination südlich oder nördlich ist. In Cuxhaven dagegen ist die Sonnenfluth am grössten, wenn die Sonne ihren nördlichsten Stand erreicht hat, und von dem Augenblicke an nimmt sie ab, bis die Sonne ihren südlichsten Stand erreicht hat. Diese unerwartete Wirkung der Sonnendeclination im Vereine mit der ebenerwähnten, überraschend starken Wirkung ihrer Entfernung, lässt in der Cuxhavener Fluthgrösse im Laufe des Jahres, statt zweier Maxima und Minima, nur ein Maximum und ein Minimum entstehen, und wie regelmässig sich der Uebergang von einem zum andern vollzieht, lehrt ein Blick auf Fig. 23, in welcher die monatlichen Abweichungen der Fluthgrösse vom Jahresmittel aufgezeichnet sind.

Auch in Bezug auf die tägliche Ungleichheit ist die Wirkung der Sonne ganz abweichend von der des Mondes, aber genau so, wie wir sie in den theoretischen Aequatorialtiden gefunden haben. Es scheint nämlich und konnte mit Sicherheit in den Tiden von Cuxhaven und Fiume nachgewiesen werden, dass die Sonne überall keine tägliche Ungleichheit in den Tiden hervorbringt.

Eintrittszeit der Tiden.

Die Theorie lässt das Hochwasser der Spring- und Taubentiden gleichzeitig mit dem Durchgange des Mondes durch den Meridian jedes Ortes eintreffen; in der Natur treffen die Spring- und Taubentiden meistentheils später ein. Im Atlantischen Ocean an den Europäischen Küsten etwa anderthalb bis drittehalb Tage, bei St. Helena, auf 16 Grad südlicher Breite, etwa zwei Tage und an der Küste der Vereinigten Staaten etwa anderthalb Tage nach den Syzygien und Quadraturen des Mondes; bei Cat-Island, im Mexicanischen Meerbusen, jedoch nur einen halben Tag nach diesen Zeitpunkten. Irgend eine Regel in dem Maasse der Verspätung ist noch nicht entdeckt und es ist sogar kaum möglich Hypothesen darüber aufzustellen, falls man auch die Küsten anderer Meere berücksichtigen will. Die Verspätung beträgt bei Sydney in Australien drittehalb Tage, bei Port Leopold und Beechey-Island im nördlichen Eismeere etwa zwei Tage, bei Bombay in Ostindien einen Tag; dagegen wird garkeine Verspätung beobachtet im

Adriatischen Meere, im Tahiti-Archipel, im Michigan See und stellenweise in Californien; bei Toulon endlich treten die Spring- und Taubentiden sogar v o r den Syzygien und Quadraturen des Mondes ein.

Durch die Zerlegung der Fluthcurven (s. § 8 u. 9) haben wir erfahren, dass die Verspätung der Tiden dadurch hervorgebracht wird, dass die Sonnenwelle später eintrifft als die Mondwelle. Da uns aber die Verspätung der Sonnenwelle — welche stellenweise jedoch garnicht vorhanden ist und sogar in eine Verfrühung übergehen kann — ebensowenig erklärlich ist, wie früher die Verspätung der ganzen Tide, so wird durch sie die Abweichung von der Theorie nicht geringer oder gar beseitigt.

Zusammensetzung der Fluthwelle.

Die Theorie construirt die Fluthwellen unter der Voraussetzung, dass die von der Sonne und vom Monde erzeugten Wellen sich ohne irgend welche Störungen oder gegenseitige Beeinflussung zu einer einzigen zusammensetzen. Diese Voraussetzung bestätigt sich jedoch in der Natur keineswegs überall und an einigen Beispielen sollen die merkwürdigen, in dieser Hinsicht auftretenden Verschiedenheiten dargelegt werden.

Aus den Beobachtungen des Wasserstandes in Kingston—upon—Hull (12), dessen Tiden in ihrer äusseren Erscheinung durchaus nichts Ungewöhnliches zeigen, ergiebt sich:

die mittlere Fluthgrösse = 16′ 10″
» » Springfluthgrösse = 20′ 1″
» » Taubefluthgrösse = 13′ 1″
» Hafenzeit . . . . . = 6^h 21′
» Verspätung der Tiden = 1^d 15^h

Hieraus findet man unmittelbar:

die mittlere Sonnenfluthgrösse. . . . . = 3′ 6″
» » Mondfluthgrösse . . . . . = 16′ 7″
das Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth . = 1 : 4,7.

Durch die Zerlegung der Fluthcurven erhält man dagegen:

die mittlere Sonnenfluthgrösse . . . . . = 3′ 1″
» » Mondfluthgrösse . . . . . = 15′ 6″
das Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth . = 1 : 5,0
die Hafenzeit des Sonnenhochwassers . . . = 7^h 12′
» » » Mondhochwassers . . . = 5 55′

Addirt man die, durch die Zerlegung der Fluthcurven gefundenen Sonnen- und Mondfluthgrössen, so erhält man 18′ 7″ als Springfluthgrösse; subtrahirt man sie, so erhält man 12′ 5″ als Taubefluthgrösse; also Zahlen, welche von den durch die Beobachtungen festgestellten um 1′ 6″ bez. 0′ 8″ abweichen. Diese sonderbaren Abweichungen entstehen, wie weitere Untersuchungen darthun, durch ganz unerwartete Wandlungen der Mondfluthgrösse. Diese ändert sich nämlich, völlig unabhängig von der Entfernung und Declination des Mondes, mit dem Mondesalter, indem sie zur Zeit der Springfluthen etwa 17′ 0″ beträgt, zur Zeit der Taubenfluthen aber nur etwa 16′ 2″.

Für Cuxhaven findet man aus den im II. Abschnitte untersuchten neunundachtzig Tagen:

die mittlere Fluthgrösse . . . . . = 2,89^{m}
» » Springfluthgrösse. . . . . = 3,25^{m}
» » Taubefluthgrösse. . . . . = 2,31^{m}
» Hafenzeit . . . . . = 0^{h} 43′
» Verspätung der Tiden . . . . . = 2^{d} 14$^{1}/_{2}^{h}$

Aus der Spring- und Taubenfluthgrösse kann man schliessen auf:

die mittlere Sonnenfluthgrösse . . . . . = 0,47 ^{m}
» » Mondfluthgrösse . . . . . = 2,78 ^{m}
das Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth = 1 : 5,9.

Durch die Zerlegung der Fluthcurven erhält man dagegen:

die mittlere Sonnenfluthgrösse . . . . . = 0,86 ^{m}
» » Mondfluthgrösse . . . . . = 2,66 ^{m}
das Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth = 1 : 3,1
die Hafenzeit des Sonnenhochwassers . . = 2^{h} 0′
„ „ „ Mondhochwassers . . . = 11^{h} 55′

Hier liefert uns also die Zerlegung Zahlen, welche entgegengesetzt den in Hull gefundenen Resultaten, die Springfluthgrösse mit den Beobachtungen verglichen zu gross, die Taubefluthgrösse zu klein finden lässt, denn erstere ergiebt sich zu 3,52 ^{m} statt zu 3,25 ^{m}, letztere zu 1,80 ^{m} statt zu 2,31 ^{m}. Dem entsprechend folgt aus weiteren Untersuchungen, dass die Mondfluthgrösse in der Nähe der Syzygien am kleinsten, nämlich etwa gleich 2,5 ^{m}, in der Nähe der Quadraturen am grössten, nämlich etwa gleich 3,2 ^{m} ist.

Folglich ist die Summe der mittleren Sonnen- und Mondfluthgrösse an einem Orte grösser, an dem anderen Orte kleiner als die Springfluthgrösse und ebenso ist der Unterschied zwischen der

mittleren Sonnen- und Mondfluthgrösse an dem einen Orte kleiner an dem anderen Orte grösser als die Taubefluthgrösse. Dies verändert zugleich das scheinbare Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth, so dass sich dieses aus dem Unterschiede zwischen der Spring- und Taubenfluthgrösse bald kleiner, bald grösser als durch die Zerlegung der Fluthcurven herausstellt.

Eine ähnliche, von der Theorie abweichende Wechselwirkung zwischen Sonnen- und Mondfluth lässt sich auch in den jährlichen Schwankungen der Cuxhavener Fluthgrösse nachweisen. Wir fanden dort die mitttlere Fluthgrösse vom kleinsten Werth im November mit 2,7 m, allmählig bis zum grössten im April mit 2,9 m übergehend. Wir vermochten auch den gesetzlichen Zusammenhang dieser Aenderung mit der Stellung der Sonne zur Erde darzulegen; allein wie ist es möglich, muss man fragen, dass die Fluthgrösse überhaupt so merklich durch die Sonnenwelle verändert werden kann? Nach der Theorie verschwindet die Sonnenwelle im Durchschnitte längerer Zeiträume fast vollständig in der Mondwelle, indem sie die letztere in der Nähe der Springfluthen nur um wenig mehr vergrössert, als sie sie zur Zeit der Taubenfluthen verkleinert. In der Natur ändert sich aber die Mondfluthgrösse nicht nur mit dem Mondesalter, sondern auch mit der Stellung der Sonne zur Erde, denn wir fanden in § 7 die Mondfluthgrösse in Cuxhaven im Frühjahre 2,8 m, im Herbste aber nur 2,6 m, trotzdem die in den beiden untersuchten Zeiträumen verschiedene Mondesdeclination einen Unterschied in entgegengesetzter Richtung hätte bedingen müssen.

So befremdend uns nun auch diese eigenthümlichen Wandlungen der Mondwelle der Theorie gegenüber erscheinen, so ist es doch noch befremdender, dass sie an anderen Orten garnicht gefunden werden. Dies scheint im ganzen Adriatischen Meere der Fall zu sein, wofür das Beispiel Triests als Beleg angeführt werden mag. Dort ist (s. II. C.):

die mittlere Fluthgrösse	=	1,89 Fuss
„ „ Springfluthgrösse	=	2,69 „
„ „ Taubefluthgrösse	=	0,69 „
„ Hafenzeit.	=	9^h 29′
„ Verspätung der Tiden	=	0

Aus diesen unmittelbar aus den Beobachtungen hervorgegangenen Zahlen folgt:

die mittlere Sonnenfluthgrösse . . . . = 1,00 Fuss
„ „ Mondfluthgrösse . . . . = 1,69 „
das Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth = 1 : 1,69

Durch die Zerlegung der Fluthcurven findet man, bis auf verschwindend kleine und zu vernachlässigende Unterschiede, genau dieselben Zahlen, so dass hier die Sonnen- und Mondwelle sich mit einer, der Theorie vollkommen entsprechenden Regelmässigkeit zu einer einzigen Welle zusammensetzen.

Dieselbe theoretische Regelmässigkeit tritt auf mitten im Grossen Ocean, im Tahiti-Archipel, über dreitausend Meilen vom nächsten Festlande entfernt. Dort schwankt die Fluthgrösse von den Tauben- bis zu den Springtiden nur zwischen zwei und vierzehn Zoll, aber trotz der störenden Wirkungen des Windes liessen sich an dieser Stelle aus nur vierzehntägigen Beobachtungen die Formen und Eintrittszeiten der Sonnen- und Mondwelle bis auf Bruchtheile eines Zolles und bis auf einzelne Minuten bestimmen. Beide treffen in genau gleichen Intervallen nach der Culmination ihres Gestirnes ein und eine Verspätung der Tiden findet ebensowenig statt, wie eine Aenderung der Mondfluthgrösse mit dem Mondesalter. In der That würde hier die Uebereinstimmung mit der Theorie eine vollkommene sein, wenn nicht ganz abweichend Sonnen- und Mondfluthgrösse einander genau gleich wären, wodurch die sonst nirgends beobachtete Erscheinung hervorgebracht wird, dass die Eintrittszeit des Hochwassers sich nie weit von Mittag und Mitternacht entfernt.

Typus der theoretischen und der natürlichen Tiden.

Die theoretischen Tiden charakterisiren sich unter Anderem dadurch, dass sie sich von einem zum anderen Breitengrade ändern, auf einem und demselben Breitengrade aber rund um die ganze Erde constant sind. Diese Eigenschaft findet sich, wie schon bemerkt wurde, keineswegs bei den natürlichen Tiden, denn sie sind häufig nahezu constant über viele Breitengrade und häufig höchst veränderlich auf einem und demselben Breitengrade. Dagegen tritt bei ihnen eine andere Art der Abhängigkeit von der geographischen Lage ganz entschieden in den Vordergrund, indem nämlich die Tiden eines und desselben Meeres, falls dieses gegen die übrigen örtlich bestimmt abgegrenzt ist, unter sich der Regel

nach übereinstimmen. Die grosse Aehnlichkeit der Tiden an den verschiedenen Küstenpunkten des langgestreckten Atlantischen Oceans ist bereits hervorgehoben worden und so ähnlich sich diese untereinander sind, ebenso bestimmt unterscheiden sie sich von den Tiden des Adriatischen Meeres, welche aber wieder untereinander die wesentlichsten Eigenschaften in Bezug auf das Verhältniss der Sonnen- zur Mondesfluth, auf die Verspätung und die täglichen Ungleichheiten, gemeinsam haben. Aueh die Tiden der Ostsee, obgleich sie noch wenig erforscht sind, scheinen sich durch die überwiegende Grösse der Sonnenfluth sowohl zu kennzeichnen, wie von den Tiden des Atlantischen Oceans zweifellos zu unterscheiden. Von den Tiden der übrigen Meere, soweit sie überhaupt bekannt sind, können wir nicht mlt gleicher Sicherheit gemeinschaftliche Eigenschaften hervorheben, aber es ist darauf aufmerksam zu machen, dass die Oceane, mit Ausnahme des Atlantischen, unter sich in einer so freien Verbindung stehen, dass eine Vermischung der ihnen etwa eigenthümlichen Tideformen als wahrscheinlich vorausgesetzt werden darf. Demungeachtet ist z. B. in den Tiden des nördlichen Theiles vom Grossen Ocean eine entschiedene Familienähnlichkeit nicht zu verkennen, denn nach den mitgetheilten und anderen Beispielen zu urtheilen, sind ihnen allen die täglichen Ungleichheiten in auffallendster und ausgeprägtester Form gemeinsam.

Berücksichtigt man neben diesen, durch die Beobachtung festgestellten Thatsachen die andere, dass auch im Michigan See, welcher mit dem Oceane durchaus in keiner Verbindung steht, eine Fluthwelle, freilich nur mit einer Springfluthgrösse von 0,07 ^{m}, durch die sorgfältigsten Untersuchungen constatirt worden ist, so kann man sich der Vermuthung nicht erwehren, dass ebensowohl wie im Michigan See, auch in allen anderen Meeren und Oceanen Fluthwellen erzeugt werden. Dabei bliebe aber dann immer noch die Möglichkeit offen, dass in den rund um die Erde reichenden Theilen der Weltmeere eine der theoretischen ähnliche Fluthwelle hervorgebracht würde, und dass diese sich, mit den Fluthwellen der einzelnen Meere vermischt, bis an die von ihrem Erzeugungsorte entlegensten Küsten der Oceane fortpflanzte.

Richtung des Fortschreitens der Fluthwellen.

Die theoretische Fluthwelle schreitet, dem scheinbaren Laufe der Gestirne folgend, in der Richtung von Osten nach Westen fort,

ohne in ihrem Laufe durch Hindernisse irgend welcher Art gestört zu werden. In der Natur sind aber derartige Hindernisse in grosser Zahl vorhanden und bis jetzt ist es noch nicht gelungen, überhaupt irgend eine bestimmte Richtung der Fortpflanzung in den auf unserer Erde beobachteten Fluthwellen nachzuweisen. Für den Atlantischen Ocean ist es in dieser Beziehung nur nöthig, auf den misslungenen Versuch Whewell's hinzudeuten: Um die wunderbaren Unregelmässigkeiten zu erklären, welche die Hafenzeiten im Englischen Canale und in der Nordsee darbieten, musste er die sonderbare Annahme zweier »rotatory-systems« machen, d. h. voraussetzen, die Fluthwelle bewege sich hier in zwei einander berührenden Kreisen (s. Figur 13). Wie sollten aber die zwölfstündlich neu eintreffenden Fluthwellen sich in diesen geschlossenen Zirkeln Aufnahme erzwingen und wie entkamen die alten? Aber auch in dem offenen Theile des Atlantischen Oceans ist von dem Fortschreiten der Fluthwelle nach irgend einer bestimmten Richtung keine Spur zu entdecken; auf den Faröe-Inseln z. B., welche über eine Fläche von nur sechszig Meilen Länge zerstreut sind, findet man alle Hafenzeiten vertreten; an der Küste der Vereinigten Staaten treffen die Hafenzeiten auf einer Länge von zwölfhundert Meilen auf eine und dieselbe Stunde, verspäten sich aber dann plötzlich um drei bis vier Stunden, um bald ebenso unerwartet wieder zurückzufallen. Ueberall an den Küsten des Atlantischen Oceans und an den von ihm umschlossenen Inseln findet man die Hafenzeiten regellos, bald vor-, bald rückschreitend, bald auf langen Strecken unverändert, und weder in der einen noch in der anderen Richtung kann man sie als das Ergebniss einer stetig fortschreitenden Welle sich vorstellen. Für den, freilich auch weniger erforschten Grossen Ocean wagte selbst Whewell nicht, seine Cotidal-lines zu entwerfen und ebensowenig sind wir heute im Stande, dies für irgend eins von allen Meeren bewerkstelligen zu können.

In dem, von Südost nach Nordwest streichenden Adriatischen Meere tritt die Fluth an der nordöstlichen Küste früher im südlichen Theile ein als im nördlichen. Dem Anscheine nach pflanzt sie sich hier also, der theoretischen Annahme entsprechend, von Ost nach West fort, jedoch nicht ohne die auffallendsten Unregelmässigkeiten. In Lesina tritt das Hochwasser, mit Berücksichtigung des Zeitunterschiedes, nur zehn Minuten später ein als in Corfu, ob-

gleich die Entfernung zwischen beiden Orten über zweihundertundfunfzig Meilen beträgt. Von Lesina bis Zara sind nur siebenundsiebenzig Meilen und doch erfolgt der Eintritt des Hochwassers in Zara um drei Stunden zehn Minuten später als in Lesina. Von Zara bis Fiume ist gerade soweit wie von Zara bis Lesina, aber in Fiume ist Hochwasser nur funfzig Minuten später als in Zara. Es liegt nahe, auf die Uebereinstimmung mit der Theorie Verzicht zu leisten und sich zur Erklärung dieser Unregelmässigkeiten den Entstehungsort der Fluthwelle zwischen Lesina und Corfu zu denken, aber dieser Annahme würden wahrscheinlich Beobachtungen an den zwischenliegenden Orten und an der Italienischen Küste nicht entsprechen; auch würden ähnliche Annahmen in anderen Meeren nur unbefriedigende Resultate liefern.

In der Ostsee, aus der leider nur wenige Beobachtungen vorliegen, würde man nach den Hafenzeiten auf ein Fortschreiten der Fluthwelle hauptsächlich von West nach Ost, also der Theorie entgegen, schliessen müssen. Im südlichen Theile des Kattegats ist die Hafenzeit, d. i. die Eintrittszeit des Hochwassers in den Syzygien, in Aarhuus eine Stunde zwanzig Minuten vor Mittag, in Rörvig, an der Mündung des Isefjord auf Seeland, dreiundfunfzig Minuten vor Mittag. Wenn die Fluthwelle von hier sich in die Ostsee fortpflanzen sollte — wie man gemeiniglich anzunehmen pflegt — so müsste die Hafenzeit an der deutschen Küste sich gegen die im Kattegat verspäten. Es ist jedoch die Hafenzeit von Thiessow auf Rügen eine Stunde dreiundfunfzig Minuten vor Mittag, also früher als in Aarhuus und Rörvig, und nun erst wächst sie, je weiter man nach Osten fortschreitet, und trifft in Memel auf funfzig Minuten nach Mittag. Man müsste sich also den Entstehungsort der Fluthwelle zwischen Rügen und Seeland vorstellen, wobei es dann jedoch höchst befremdend bleiben würde, dass auf der viel grösseren Wasserfläche des östlichen Theiles der Ostsee nicht schon früher eine Fluthwelle erzeugt sein sollte.

Der mittlere Wasserstand der Fluthwellen.

Die Theorie lässt die grossen Axen der durch Sonne und Mond erzeugten Wassersphäroide stets auf diese Gestirne gerichtet bleiben, und wenn eins dieser Gestirne declinirt, oder wenn Beide

sich aus der Ebene des Aequators entfernen, so entfernen sich gleichzeitig grosse Wassermassen vom Aequator und nähern sich den Polen. Dadurch wird der mittlere Wasserstand auf allen Breitengraden verändert, beispielsweise auf dem Aequator gesenkt und auf den Polen gehoben. Da die Declination der Sonne und des Mondes sich in regelmässigen Perioden ändert, so müssen auch in denselben Perioden Schwankungen des mittleren Wasserstandes erfolgen, wie dies im ersten Abschnitte weiter ausgeführt und durch Zeichnungen veranschaulicht worden ist. Die Declination des Mondes muss Schwankungen von etwa vierzehntägiger, die der Sonne solche von halbjähriger Periode hervorbringen.

Wenn die Tiden in der Natur ganz oder theilweise auf eine ähnliche Art entstehen, wie die Theorie sie auf dem Wassersphäroid entstehen lässt, dann müssen auch die, mit den astronomischen Perioden übereinstimmenden Schwankungen des mittleren Wasserstandes in der Natur sich finden; sind diese Schwankungen in der Natur aber nicht vorhanden, dann können die natürlichen Tiden auch nicht durch die, von der Theorie vorgeschriebenen allgemeinen Aenderungen der Form der die Erde umgebenden Meere hervorgebracht sein.

Die Untersuchungen des III. Abschnittes haben dargethan, dass die in der Natur auftretenden, keineswegs unbeträchtlichen Schwankungen des mittleren Wasserstandes (13) der Hauptsache nach durch den Wind hervorgebracht werden, wodurch jedoch nicht ausgeschlossen ist, dass sie nicht zum Theil durch die unmittelbaren Wirkungen von Sonne und Mond veranlasst werden. Da die Wirkungen des Windes sich in keinem einzelnen Falle genau nachweisen lassen, so lässt sich auch das Maass der Schwankungen niemals genau angeben und nur die mittleren Wasserstände einer langen Reihe von Tagen, einmal geordnet nach der Declination der Sonne und einmal nach der des Mondes, würden das Mittel an die Hand geben, den etwaigen unmittelbaren Einfluss der Gestirne von dem des Windes zu trennen. Für Cuxhaven haben wir eine derartige Zusammenstellung in Bezug auf die Sonne geliefert:

Abweichungen des mittleren Wasserstandes in Cuxhaven vom Jahresmittel.			
Frühling	Sommer	Herbst	Winter
— 0,10 m	+ 0,03 m	+ 0,07 m	± 0,00
Declination der Sonne.			
9 ° N	19 ° N	8 ° S	19 ° S

und nach derselben zu urtheilen, scheint kein Zusammenhang zwischen den mittleren Wasserständen und der Declination der Sonne zu bestehen, denn bei nördlicher Declination findet einmal eine Erhöhung, das andere Mal eine Senkung des mittleren Wasserstandes statt und ähnlich verhält es sich bei südlicher Declination der Sonne. Ueber den Einfluss der Mondesdeclination können wir nur mit Hülfe der Untersuchungen des II. Abschnittes Vermuthungen aussprechen. Wir fanden dort, dass die Hochwasserhöhen in Cuxhaven in viel geringerem Maasse durch die Mondesdeclination beeinflusst werden als die Niedrigwasserhöhen, und es würde demnach möglich sein, dass durch die Mondesdeclination der Theorie gemässe Schwankungen des mittleren Wasserstandes von 0,026 m hervorgebracht würden, falls der mittlere Wasserstand in Cuxhaven stets genau 470 Tausendstel der Fluthgrösse unter Hochwasser liegt. Liegt aber der mittlere Wasserstand je nach der Mondesdeclination 465 bis 475 Tausendstel der Fluthgrösse unter Hochwasser, dann wird seine absolute Höhe durch die Mondesdeclination nicht verändert. Ein ganz bestimmtes Resultat geben also die Untersuchungen der Cuxhavener Wasserstände nicht und sie gestatten nur den Schluss, dass die unmittelbaren Wirkungen von Sonne und Mond auf den mittleren Wasserstand aller Wahrscheinlichkeit nach höschst unbedeutend sind. Unter diesen Umständen würde die ausserordentlich wichtige Frage nach den unmittelbaren

Wirkungen von Sonne und Mond auf den mittleren Wasserstand unerledigt bleiben müssen, wenn nicht bereits von anderer Seite die erschöpfendsten Untersuchungen zum Zwecke ihrer Beantwortung angestellt worden wären. Diese Untersuchungen sind in den Arbeiten von Sir William Thomson, Professor der Naturwissenschaften in Glasgow, enthalten und von ihm als Präsidenten eines von der British Association for the advancement of science niedergesetzten Tidal-Committee in den Berichten dieser Gesellschaft für die Jahre 1868 bis 1876 veröffentlicht.

Professor Thomson legt den Schwankungen des mittleren Wasserstandes oder, wie er sie nennt, den Tiden von langer Periode, ebenfalls eine grosse Bedeutung bei, denn in seiner als Schlussbericht bezeichneten Abhandlung für das Jahr 1876 giebt er einen Auszug aus der, in Thomson and Tait's »Natural-Philosophy« enthaltenen, verbesserten oder berichtigten (»corrected«) Bernoullischen Gleichgewichts-Theorie, in welchem gesagt wird: »Da die vierzehntägigen und halbjährigen Tiden in Wirklichkeit höchst wahrscheinlich dem Gleichgewichtsgesetze sehr nahe folgen, so ist es eine Sache von grosser Wichtigkeit, ihre Grösse zu bestimmen.« Aus dem Berichte für das Jahr 1872 erfahren wir auch die Fluthgrösse, welche man für die Mondtide unter gewissen Voraussetzungen erwartete, denn in diesem Berichte heisst es: „So ist berechnet worden, dass, wäre die Erde vollkommen starr, die Fluthgrösse der vierzehntägigen Mondtide bei Teneriffa vom niedrigsten bis zum höchsten, und gleichzeitig bei Island vom höchsten bis zum niedrigsten Stande 4,5 Zoll betragen würde."

Aus diesen Citaten wird man schliessen müssen, dass Professor Thomson die von der Theorie gebotenen Tiden in der Natur zu finden erwartete und seine Resultate werden um so grösseres Vertrauen verdienen, je weniger sie den von ihm gehegten Erwartungen entsprachen. Nun liess er im Laufe der obengenannten Jahre vierzig Jahrgänge oder 14 600 Tage Wasserstandsbeobachtungen auf das Gründlichste durchforschen, um die Tiden von langer Periode nachweisen und dem Maasse nach für verschiedene Orte feststellen zu können. Im Jahre 1870, nachdem schon zahlreiche Jahrgänge von Wasserstandsbeobachtungen zergliedert waren, erklärt er aber: „Das Forschen nach astronomischen Tiden von langer Periode hat bis zu diesem Augenblicke nur negative Resultate ergeben. In jedem Falle scheint eine wirkliche jährliche Tide

angezeigt zu sein, aber die negativen Resultate in Bezug auf die vierzehntägige (Declinations-) und monatliche (elliptische) Mondtide, verbieten uns, sowohl die halbjährige wie die ganzjährige als eine wahre astronomische Tide zu betrachten. Beide sind wahrscheinlich meteorologischen Ursachen zuzuschreiben.“ Diese klare, nicht misszuverstehende Aussage wird später weder widerrufen noch berichtigt, dagegen mittelbar bestätigt. Zwei Jahre darauf, in dem Berichte für 1872, berechnet Professor Thomson, mittelst der von ihm entwickelten Tiden, die Wasserstände für die einzelnen Stunden irgend eines Tages für Kurrachee in Ostindien, lässt aber dabei die Tiden von langer Periode ganz weg, weil die, für sie aus drei aufeinander folgenden Jahren gefundenen Werthe „nicht gut mit einander übereinstimmten.“ In dem Schlussberichte von 1876 werden die Tiden von langer Periode kaum erwähnt, obgleich dies doch ohne Zweifel geschehen sein würde, wenn die Forschungen inzwischen für sie günstigere Resultate ergeben hätten. Ebenso bezeichnend ist es, dass für Helbre-Island, von dem in diesem Berichte die einzelnen Tiden für zehn aufeinander folgende Jahre mitgetheilt werden, gar keine Tiden von langer Periode angegeben sind, während sie sich doch jedenfalls, wenn sie überhaupt vorhanden wären, aus einer so langen Reihe von Jahren mit der grössten Sicherheit hätten bestimmen lassen müssen.

Die Orte, deren Tiden von Professor Thomson untersucht sind, liegen an den Küsten aller Meere des Erdballes zerstreut und die Ergebnisse seiner neunjährigen, mit unvergleichlicher Sorgfalt angestellten Forschungen können deshalb eine allgemeine Gültigkeit beanspruchen. Sie lassen sich, in Bezug auf die vorliegende Frage in folgenden Worten zusammenfassen: es giebt keine Tiden von langer Periode, keine durch die Gestirne hervorgebrachten Schwankungen des mittleren Wasserstandes, sondern nur solche meteorologischen Ursprunges. Der vorige Abschnitt — ich kann hinzufügen, ebenfalls das Ergebniss neunjähriger Arbeiten — beschäftigt sich mit diesen Tiden meteorologischen Ursprunges und beweist, dass sie im Einzelnen aus unregelmässigen Schwankungen des mittleren Wasserstandes bestehen, welche durch die Wirkung des Windes, vielleicht unter Mitwirkung des Luftdruckes und der Wärme, hervorgerufen werden.

Die beiden, aus so verschiedenen Gesichtspunkten begonnenen und auf so verschiedenen Wegen geführten Untersuchungen bezeugen

also übereinstimmend, dass die von der Theorie geforderten, in astronomischen Perioden von langer Dauer, namentlich vierzehntägiger und halbjähriger Dauer, erfolgenden regelmässigen Schwankungen des mittleren Wasserstandes in den, in der Natur beobachteten Tiden nicht vorhanden sind. Dieses Resultat ist von der grössten Bedeutung, denn ohne diese Schwankungen kann die Theorie ihre Tiden überhaupt nicht construiren. Es beweist also, dass die theoretischen und die natürlichen Tiden auf ganz verschiedene Weise hervorgebracht sein müssen und dass wir das Vorbild der letzteren nirgends auf dem hypothetischen Wassersphäroide suchen dürfen. Die Aehnlichkeiten, welche wir zwischen den theoretischen und den natürlichen Tiden nachzuweisen vermochten, können wir nur noch als gewissermaassen zufällige bezeichnen, und ihre Abweichungen von einander haben nur noch insofern Bedeutung, als sie zur Vermehrung unserer Kenntnisse von den Eigenschaften der natürlichen Tiden einen Beitrag liefern. Newton's Scharfsinn hat uns zwar die Grundlage einer Erklärung der Tiden geliefert, aber darüber hinaus sind wir auch bis zum heutigen Tage noch nicht gekommen.

Durch die Erkenntniss der Unanwendbarkeit der theoretischen Folgerungen auf die Meere unserer Erde sind wir um eine, wenn auch irrige Vorstellung ärmer geworden. Wir sehen die Fluthwellen nicht mehr mit Sonne und Mond rund um die Erde reisen und wenn uns auch dadurch zugleich die erdrückende Last unzähliger Hypothesen abgenommen ist, so sind wir doch keineswegs im Stande, sie ohne Weiteres durch richtigere Vorstellungen zu ersetzen. Auf ein zutreffendes Urtheil über die Flutherscheinungen in ihrer Gesammtheit werden wir wohl noch auf lange Zeit hinaus verzichten müssen, denn augenblicklich können sie in uns nur den Eindruck eines sehr verworrenen Bildes hervorbringen:

Wirft man eine Handvoll kleiner Steine auf eine von steilen Ufern begrenzte, leicht übersehbare Wasserfläche, so entstehen in wenigen Augenblicken zahlreiche Wellensysteme, die sich, einander fortwährend durchkreuzend, nach allen Richtungen über die Wasserfläche fortpflanzen, bis sie das Ufer erreicht haben. Vom Ufer werden die Wellen zurückgeworfen; sie durchmessen die Wasserfläche zum zweiten Male, und dieses Spiel wiederholt sich, bis die Wellen, wegen ihrer stets abnehmenden Grösse, von uns nicht mehr wahrgenommen werden können. Verfolgt man einzelne dieser

dieser Wellen genauer, so sieht man ihre Form, Grösse und Geschwindigkeit, je nach der Wassertiefe und Art der ihnen begegnenden Wellen, fortwährenden Aenderungen unterworfen, und wenn es möglich wäre, die Wellen unausgesetzt in gleichen Zeitintervallen und in stets gleicher Weise zu erregen, so würde man auch auf jedem Theile der Wasserfläche unaufhörlich Wellen von gleicher Grösse und Beschaffenheit entstehen und verschwinden sehen. Lässt man nun in Gedanken diese Wasserfläche wachsen, bis sie die Form und Grösse aller Meere der Erde zusammengenommen erreicht hat, dann bietet sie uns vielleicht ein Bild der unsere Oceane durcheilenden Fluthwellen. An gewissen Stellen durch die wellenbildende Kraft von Sonne und Mond erregt, werden sie auf hoher See und in tiefem Wasser, wie die durch Erdbeben erzeugten Wellen vermuthen lassen, mit grosser Schnelligkeit sich fortpflanzen, wobei jede einzelne Welle eine Fläche von ungeheurer Ausdehnung bedecken wird; in der Nähe der Küste und bei geringer Wassertiefe wird ihre Ausdehnung und Geschwindigkeit sich vermindern, ihre Höhe aber zunehmen; vielfach werden sie mit den aus anderen Richtungen anlaufenden und den rückkommenden Wellen sich begegnen und durchkreuzen, und alle Meere müssen in Folge dieser verwickelten Vorgänge mit einem vielfach verschlungenen Netze verschiedenartiger Wellen bedeckt sein. Da aber die Ursachen, welche dieses Wellennetz hervorriefen, in stets gleichen Perioden zu wirken fortfahren, so müssen auch an jeder Stelle des Meeres die Wellen in stets gleicher Weise verlaufen und nur jene Veränderungen werden wir an ihnen beobachten, welche durch die Aenderungen in der Entfernung und Declination von Sonne und Mond hervorgerufen werden.

Ebensowenig wie wir nach diesem Bilde von der Gestaltung der Flutherscheinungen in ihrer Gesammtheit Rechenschaft abzulegen vermögen, ebensowenig ist dies hinsichtlich ihrer Einzelheiten der Fall. Alle Eigenschaften der Tiden finden wir wechselnd nach Zeit und Ort, aber warum hier dieses Verhältniss der Sonnen- zur Mondfluth, dort jenes stattfindet, warum hier starke uud dort schwache tägliche Ungleichheiten auftreten, warum hier die Tiden sich verspäten und dort nicht — das Alles wissen wir nicht. Ist aber jenes Bild nicht ganz unrichtig, so können diese sämmtlichen Verschiedenheiten nur durch die Unterschiede in der Lage und der Gestaltung der einzelnen Meere und Oceane bedingt sein, und da

uns diese bereits mehr oder weniger bekannt sind, so dürfen wir hoffen, dass fernere Forschungen uns über das aufklären werden, was uns bis jetzt in dem Phänomen der Fluth und Ebbe des Meeres noch räthselhaft erscheint.

Die zukünftigen Forschungen werden in dreifacher Richtung anzustellen sein; sie müssen sich erstrecken auf die Theorie, auf die Tiden an einzelnen Uferstellen und auf die Aenderungen, denen die Fluthwellen während ihres Fortschreitens von einer Stelle zur anderen unterworfen sind.

Die theoretischen Forschungen werden von anderen als den Newton'schen Voraussetzungen auszugehen haben. Newton nahm an, die Erde sei ringsum von tiefem Wasser umgeben und für diese hypothetische Erde entwickelte er die theoretischen Tiden, welche aber in den hauptsächlichsten Eigenschaften, wie wir gesehen haben, mit den natürlichen Tiden nicht übereinstimmen. Man wird jetzt also für irgendwelche, irgendwo auf der Erde befindliche, geschlossene Wassermassen die Form ihrer Oberfläche im Zustande des Gleichgewichtes, für verschiedene Stellungen von Sonne und Mond zur Erde, zu ermitteln haben. Die Form der Oberfläche dieser Wassermassen muss in Folge des Gesetzes der Schwere von derjenigen einer Kugelfläche abweichen und zwar in verschiedenem Maasse abweichen, je nach ihrer Belegenheit auf der Erde, nach dem Mondesalter und nach der Tages- und Jahreszeit. Die Berechnung dieser Formen wird gewiegten Mathematikern nicht unmöglich sein, und es ist wahrscheinlich, dass die Bekanntschaft mit denselben förderliche Schlüsse über die Art und den Ort der Entstehung der Fluthwellen, sowie über die in der Natur so verschiedenartigen Wirkungen von Sonne und Mond gestatten wird.

Die Untersuchung der Tiden an einzelnen Uferstellen ist verhältnissmässig schon jetzt am Weitesten gediehen. Die zuerst von Sir William Thomson angewandte Methode der harmonischen Analyse verspricht in dieser Beziehung die glänzendsten Resultate, vorausgesetzt, dass bei ihrer Anwendung nicht eine bestimmte Theorie als richtig angenommen und dass der Wirkung des Windes gebührende Rechnung getragen wird.

Die Veränderungen, denen die Fluthwelle während ihres Fortschreitens von einer Stelle zur anderen unterworfen ist, sind bis jetzt, meines Wissens, noch niemals der Gegenstand gründlicher Untersuchungen gewesen, und in dieser

Beziehung bleibt deshalb Alles zu thun übrig. Es ist nicht zu verkennen, dass die Untersuchung dieser Veränderungen mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist, falls aber die Aehnlichkeit zwischen den Fluthwellen und anderen im Wasser erregten Wellen — auf die ich im II. Abschnitte durch einige, freilich sehr dürftige Bemerkungen hindeutete — in der That besteht, so sind auch von der Untersuchung fortschreitender Fluthwellen nicht nur die werthvollsten Aufschlüsse über die Flutherscheinungen selbst zu erwarten, sondern auch eine wesentliche Bereicherung unserer Kenntnisse von den Eigenschaften der Wellen im Allgemeinen steht in sicherer Aussicht. Die durch Erdbeben erregten Wellen, wie man solche in den Jahren 1854, 1868 und 1877 über die ganze Ausdehnung des Grossen Oceans verfolgt hat, gewähren fraglos wichtige Anhaltspunkte zur Beurtheilung mancher Eigenschaften der Wellen; andere dieser Eigenschaften lassen sich von den durch den Wind, durch Fahrzeuge und dergl. erregten Wellen ableiten, aber einzig und allein die Fluthwellen bieten Gelegenheit, alle Eigenschaften regelmässiger, d. h. in keinem ihrer Theile brandenden Wellen mit jeder nur wünschenswerthen Genauigkeit beobachten und feststellen zu können.

Am vollkommensten eignete sich für diesen Zweck ein langer, schmaler, nur auf einer Seite mit dem offenen Meere in Verbindung stehender Meeresarm von gleichmässiger oder gleichmässig abnehmender Breite und Tiefe, in den eine Fluthwelle von beträchtlicher Höhe einläuft. An solchem Meeresarme müssten die Wasserstände während eines ganzen Jahres beobachtet werden, und zwar in so kleinen Zeitintervallen und an so zahlreichen Uferstellen, dass man die Form der Oberfläche des Wassers während der ganzen Dauer der Beobachtungen als genau ermittelt annehmen dürfte. Würden ausserdem sorgfältige Karten und Tiefenmessungen vom ganzen Meeresarme angefertigt, so befände man sich im Besitze der nothwendigen Vorarbeiten, um die Fluthwelle in allen ihren Wandlungen während ihres Laufes durch diesen Meeresarm verfolgen zu können. Aus der Grösse der Wasserflächen von einer Beobachtungsstelle bis zur nächsten und aus den Senkungen oder Hebungen des Wasserspiegels auf jeder dieser Flächen in irgend einem Zeitabschnitte, liesse sich dann die Geschwindigkeit des Wassers in jedem beliebigen Profile des Meeresarmes für jeden beliebigen Augenblick berechnen. Durch die Zerlegung der an

den einzelnen Uferstellen beobachteten Fluthcurven in die Sonnen- und Mondfluthcurven erführe man ferner die Schnelligkeit und die Veränderungen der Form der Sonnen- und Mondwelle getrennt, und da alle Umstände, welche auf diese und die Veränderung der Fluthcurven von Einfluss sein können, durch die Beobachtungen und Messungen bekannt wären, so ist es undenkbar, dass es auf diese Weise nicht gelingen sollte, den gesetzlichen Zusammenhang zwischen ihnen nachzuweisen.

Leider giebt es auf der ganzen Erde kaum einen Meeresarm, der den gestellten Anforderungen in jeder Beziehung entspräche. Am meisten genügt ihnen vielleicht die tiefe, meerbusenartige Mündung des St. Lorenz-Stromes in Canada. Zwischen Cap Monts und Cap Chatte einerseits und der Stadt Quebec andererseits, hat dieselbe eine Länge von zweihundertundzwanzig Meilen bei einer durchschnittlichen Breite von zwanzig Meilen; in ihrer ganzen Ausdehnung beträgt die Springfluthgrösse nirgends weniger als elf, durchschnittlich aber über vierzehn Fuss. Der St. Lorenz-Strom oberhalb Quebec müsste bis zur Fluthgrenze, die etwa funfzig Meilen entfernt ist, ebenso wie die Fluthgebiete der in den Meerbusen mündenden Flüsse, in den Kreis der Beobachtung eingeschlossen werden, wodurch sich wahrscheinlich die Zahl der Beobachtungsstellen, ungerechnet die ausserdem erforderliche Bestimmung der von den Flüssen gelieferten Wassermengen, auf mindestens funfzig stellen würde. Die Bearbeitung der Beobachtungen beanspruchte, selbst bei reichlichen Arbeitskräften, gewiss nicht weniger Zeit als die Beobachtungen selbst.

Es ist nicht zu hoffen, dass die Ausführung eines so grossartigen Experimentes in nächster Zeit in Angriff genommen werden wird. Allein wie es vor dreiundvierzig Jahren Whewell gelungen ist, die dreiwöchentliche Beobachtung aller Hoch- und Niedrigwasser an mehr als sechshundert Küstenpunkten in's Werk zu setzen, so kann auch der günstige Augenblick erscheinen, in dem es nützlich erachtet wird, auf funfzig Stellen ein Jahr lang beobachten zu lassen.

Vorher muss allerdings die Ueberzeugung sich Bahn gebrochen haben, dass es nothwendig ist, nicht nur eine neue Theorie der Fluth und Ebbe des Meeres aufzustellen, sondern auch nothwendig, sei durch umfassendere als die bisher in der Natur angestellten Beobachtungen zu prüfen und zu bestätigen.

Anmerkungen.

1. Theorie der Fluth und Ebbe.

Nach dem Newton'schen Gesetz der Schwere ziehen alle Körper sich gegenseitig an, und zwar je zwei materielle Punkte mit einer Kraft, welche dem Produkte ihrer Massen und umgekehrt dem Quadrate ihrer Entfernung proportional ist.

Sonne, Erde und Mond kann man als gleichmässig um ihren Mittelpunkt gelagerte Kugeln annehmen, und für diese gilt das Gesetz genau in der eben ausgesprochenen Form, da man sich die Massen solcher Kugeln in ihren Mittelpunkten concentrirt denken, und diese dann als materielle Punkte betrachten kann.

Die Fluth und Ebbe des Meeres unserer Erde folgt unmittelbar aus dem Gesetz der Schwere.

Die Figur 44 stelle eine durch die Mitten von Sonne und Erde gelegte Ebene vor. S sei der Mittelpunkt der Sonne, T der Mittelpunkt und der Kreis ACBD der Schnitt durch die Oberfläche der Erde.

Die materiellen Punkte dieser Oberfläche (wofür in der Folge kurzweg Punkte gesagt werden soll) werden sämmtlich von der Erde, deren Anziehungskraft man sich in ihrem Mittelpunkte vereinigt denken kann, gleich stark angezogen; von der Sonne aber mit verschiedener Stärke, weil ihre Entfernung von der Sonne eine verschiedene ist.

Wenn die Kraft, mit welcher die Sonne den Erdmittelpunkt anzieht, durch die Linie ST ausgedrückt wird, so drückt SL die Kraft aus, mit welcher der Punkt P der Oberfläche von der Sonne angezogen wird, wenn man $SK = ST$ macht und dann SL aus der Proportion entwickelt: $SL : SK = SK^2 : SP^2$, wenn man also $SL = \frac{SK^3}{SP^2}$ macht. Die Linien SK und SL verhalten sich dann nämlich, wie das Gesetz der Schwere es verlangt, umgekehrt wie die Quadrate der Abstände der Punkte P und T von der Sonne. Zieht man nun $LM \fallingdotseq PT$, so kann man sich die auf P wirkende Kraft SL in die Seitenkräfte SM und LM zerlegt denken. Von diesen Kräften werden LM und der Theil TM von SM die Entfernung des Punktes P vom Erdmittelpunkte zu verändern streben.

Denkt man sich die Erdkugel durchaus flüssig, und die Kräfte LM und TM klein im Verhältnisse zur Kraft ST, so werden sie eine entsprechende Bewegung des Punktes P veranlassen und ihn, wenn man beispielsweise Pp = $^1/_{10}$ LM und $pP^1 = {}^1/_{10}$ TM macht, etwa nach P^1 bringen, denn selbstverständlich werden in der beschriebenen Weise nicht nur die Punkte der Erdoberfläche, sondern auch alle zwischen der Letzteren und dem Erdmittelpunkte belegenen Punkte beeinflusst.

Wenn man dieselbe Construction wie für P, für eine hinreichende Anzahl anderer Punkte ausführt, so findet man, dass der kreisförmige Durchschnitt ACBD der Erde sich in Folge des Gesetzes der Schwere in den eiförmigen $A^1C^1B^1D^1$ verwandelt, und da dieselbe Schlussfolgerung für alle durch die Mitten von Sonne und Erde gelegten Ebenen gilt, so wird in Folge der Anziehungskraft der Sonne die Kugelform der flüssigen Erde in eine Eiform übergehen.

Es muss indess darauf hingewiesen werden, dass die Schlüsse, aus denen diese Eiform abgeleitet ist, nur so lange richtig bleiben, wie die Kugelform der Erde unverändert bleibt, denn sowie man annimmt, dass z. B. der Punkt P nach P^1 gelangt, so sind für ihn die Anziehungskräfte von Erde und Sonne auch andere geworden, und Gleichgewicht ist ebenso wenig vorhanden wie am Anfange der Bewegung. Es folgt daraus, dass die vorstehende Ableitung nur dann als annähernd richtig gelten kann, wenn es sich um sehr geringe Bewegungen handelt, und dass ein derartiger Fall vorliegt, soll nunmehr nachgewiesen werden.

Die Masse der Sonne ist 319 500mal so gross wie die Masse der Erde und ihre Entfernung vom Mittelpunkte der Letzteren beträgt 11 567 Erdaequator-Durchmesser. Setzt man die Kraft, mit welcher die Sonne den Erdmittelpunkt anzieht $= \frac{319500}{11567^2}$, so ist die Kraft, mit welcher sie auf den ihr nächstliegenden und auf den von ihr am entferntesten Punkt der Erdoberfläche (das sind die Punkte A und B in der Figur) wirkt $= \frac{319500}{(11567 \mp \frac{1}{2})^2}$. Der Unterschied dieser Kräfte, oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, die flutherzeugende Kraft in den Punkten A und B ist:

$$= \frac{319\,500}{11\,567^2} - \frac{319\,500}{(11\,567 \mp \frac{1}{2})^2}$$

oder, wenn man verschwindend kleine Bruchtheile vernachlässigt,

$$= \frac{319\,500}{11\,567^3} = 0{,}00\,000\,020\,645.$$

Nach derselben Bezeichnungsart wirkt die Erde auf einen Punkt ihrer Oberfläche mit einer Kraft $= \frac{1}{0{,}5^2} = 4$, und ist demnach die flutherzeugende Kraft in den Punkten A und B = 0,00 000 020 645 ÷ 4 = 0,0 000 000 516 × der Anziehungskraft der Erde.

Die Beschleunigung der Schwere, welche unter dem Aequator 9,7806 m beträgt, wird sich also vermindern um:
9,7806 × 0,0 000 000 516 = 0,0 000 005 047 m und reducirt werden auf 9,7 805 994 953 m.

Der Erdaequatorhalbmesser misst 859,5 geographische Meilen oder 6 377 000 m. Die der eben genannten Beschleunigung der Schwere entsprechende Entfernung vom Erdmittelpunkte findet man demnach

$$= \sqrt{\frac{9{,}7806.\ 6\,377\,000^2}{9{,}7805\,994\,953}} = 6\,377\,000{,}165\ ^{m}$$

d. h. die Erhebung des Wasserspiegels in Folge der flutherzeugenden Kraft der Sonne beträgt in den Punkten A und B nur 0,165 m. Aus der Eingangs gegebenen Betrachtung findet man die Senkung des Wasserspiegels in den um 90 Grad entfernten Punkten C und D gleich der Hälfte dieser Erhebung, also = 0,0825 m, woraus der Unterschied der Erdhalbmesser AT und CT, oder TB und TD, d. i. das was wir später mit dem Namen Fluthgrösse bezeichnen, zu 0,2475 m sich findet.

Man darf also gewiss die Fluthgrösse als verschwindend klein gegen den Erdhalbmesser, mithin die obige Ableitung als sehr annähernd richtig betrachten.

Ber Mond wirkt selbstverständlich in ganz ähnlicher Weise wie die Sonne, und das Maass seiner Wirkung kann man unmittelbar aus dem der Sonne ableiten. Die Masse des Mondes ist 0,0125 der Erdmasse und seine Entfernung vom Erdmittelpunkte ist gleich 30,13 Erdaequator-Durchmessern. Es verhält sich demnach die flutherzeugende Kraft der Sonne zu der des Mondes

$$= \frac{319\,500}{11\,567^3} : \frac{0{,}0125}{30{,}13^3} = 1 : 2{,}2136,$$

d. h. die flutherzeugende Kraft des Mondes beträgt mehr als das Doppelte derjenigen der Sonne. Wegen der geringen Entfernung des Mondes zeigt sich aber ein merklicher Unterschied in der Erhebung des Wassers auf der ihm zugewandten und der von ihm abgewandten Seite der Erde. Man findet, mit Bezug auf die obige Figur, die Erhebung des Wassers im Punkte A um $^1/_{20}$ grösser als im Punkte B, und dieser Unterschied würde vielleicht im Folgenden berücksichtigt werden müssen, wenn nicht eine strengere Rechnung als die Newton'sche ihn als unrichtig nachwiese. Mit Hülfe der Potential-Theorie findet man nämlich diesen Unterschied gleich $^1/_{43}$, und wenn es sich um rein wissenschaftliche Untersuchungen handelte, dürfte man nur diese und nicht die Newton'sche Rechnung gelten lassen. Im vorliegenden Falle kommt es jedoch nur auf die praktischen Folgerungen an, welche durch die der Newton'schen Theorie mangelnde Schärfe keineswegs in nachtheiliger Weise beeinflusst werden. Man darf es sogar unbedenklich erachten, eine weitere, bereits von Newton angegebene, Vereinfachung einzuführen. Newton beweist nämlich (S. 547 der Uebersetzung), dass die flüssige Erde unter dem Einflusse der Sonne nahezu die Form eines Sphäroids annehmen müsse, welches durch Umdrehung um seine, auf die Sonnenmitte gerichtete, grosse Axe entsteht.

Lässt man diese, die weitere Entwickelung höchst vereinfachende Form gelten, so hat man zur näheren Bestimmung des Sphäroids die Bedingung, dass sein Inhalt mit demjenigen der Kugel, aus welchem es entstanden ist, übereinstimmen muss. Bezeichnet r den Halbmesser der Erdkugel, a die halbe grosse, und b die halbe kleine Axe des Sphäroids, so muss sein:

$$^4/_3\ r^3\ \pi = {}^4/_3\ a\ b^2\ \pi.$$

Setzt man die halbe kleine Axe

$$b = r - m$$

so ergiebt sich aus dieser Gleichung die halbe grosse Axe

$$a = \frac{r^3}{(r - m)^2}$$

Nimmt man, was nach dem Vorigen zulässig ist, den Werth von m als verschwindend klein gegen r, so kann man, bei Aus-

führung der Division, auf der rechten Seite dieser Gleichung, die mit dem Quadrat und den höheren Potenzen von m behafteten Glieder vernachlässigen, und erhält dann als Werth für die halbe grosse Axe

$$a = r + 2m.$$

Die Mittelpunktsgleichung dieses Sphäroids lautet, auf Polarcoordinaten bezogen, wenn ς_1 der Fahrstrahl ist, β der Winkel, welchen der Fahrstrahl mit der horizontalen Tafel, und λ der Winkel, welchen er mit der verticalen Tafel bildet, und wenn die Sonne sich in der Schnittlinie der horizontalen und verticalen Tafel befindet:

$$(r + 2m)^2 (\varsigma_1^2 \text{Cos.}^2 \beta \text{ Sin.}^2 \lambda + \varsigma_1^2 \text{Sin.}^2 \beta) + (r—m)^2 \varsigma_1^2 \text{Cos.}^2 \beta \text{Cos.}^2 \lambda = (r + 2m)^2 (r — m)^2$$

woraus sich durch Reduction ergiebt:

$$\varsigma_1 = r\left(1 + \frac{m}{r} — 2\frac{m^2}{r^2}\right)\left(1 + 4\,[1 — \text{Cos.}^2 \beta \text{ Cos.}^2 \lambda]\,\frac{m}{r} + 4\,[1 — 3 \text{ Cos.}^2 \beta \text{ Cos.}^2 \lambda]\,\frac{m^2}{r^2}\right) —$$

Löst man die rechte Seite dieser Gleichung nach dem binomischen Lehrsatz auf, indem man wieder das Quadrat und die höheren Potenzen von m vernachlässigt, so erhält man

$$\varsigma_1 = r + m\ (3 \text{ Cos.}^2 \beta \text{ Cos.}^2 \lambda — 1)$$

Auf Polarcoordinaten bezogen, lautet die Mittelpunktsgleichung der Kugel, aus der das Sphäroid hervorgegangen ist, wenn ς den Fahrstrahl bedeutet:

$$\varsigma = r$$

Durch Subtraction der beiden letzten Gleichungen, findet man für die, durch die flutherzeugende Kraft der Sonne auf der Erdkugel hervorgebrachten Hebungen und Senkungen des Wasserspiegels

$$\varsigma_1 — \varsigma = m\ (3\ \text{Cos.}^2 \beta\ \text{Cos.}^2 \lambda — 1).$$

In dieser Gleichung bezeichnet m den dritten Theil des Unterschiedes der beiden Halbaxen des Sphäroids, der oben, für die Sonne allein, gleich 0,0825 ^{m} gefunden wurde. Für den Mond findet man ihn, nach dem bekannten Verhältnisse der Wirkungen der

beiden Gestirne, gleich 0,1826 m. Befinden Sonne, Mond und Erde sich in einer geraden Linie, so werden die grossen Axen der durch die beiden Himmelskörper intendirten Sphäroide zusammenfallen, und der Unterschied der beiden Halbaxen des so gebildeten Sphäroids wird 0,7953 m sein. Dann ist m = 0,2651 und die Gleichung geht über in:

$$\varsigma_1 - \varsigma = 0{,}7953 \ \text{Cos.}^2 \beta \ \text{Cos.}^2 \lambda - 0{,}2651$$

Die halbe kleine Axe war um m kleiner als der Halbmesser der Erde; addirt man diesen Werth auf der rechten Seite der Gleichung, so erhält man den Unterschied zwischen der halben kleinen Axe und irgend einem Fahrstrahle des Sphäroids oder die Erhebung des Wassers über seinem niedrigsten Stande

$$= 0{,}7953 \ \text{Cos.}^2 \beta \ \text{Cos,}^2 \lambda.$$

Lässt man jetzt die horizontale Tafel mit der Aequatorebene der Erde zusammenfallen, so bezeichnen die Winkel β die Breitengrade, die Winkel λ die Längengrade der Erde, wobei zu bemerken ist, dass letztere von dem Punkte des Aequators abzuzählen sind, in dessen Zenith Sonne und Mond sich befinden. Aus der letzten Formel kann man also für jeden Längen- und Breitengrad die Erhebung des Wassers über dem niedrigsten Stande berechnen. Dies ist in der folgenden Tabelle von zehn zu zehn Grad geschehen, und zwar ist für jeden Punkt gesondert angegeben, ein wie grosser Theil der Erhebung vom Monde, und ein wie grosser Theil derselben von der Sonne herrührt.

Grad Länge λ		Grad 0°	10°	20°	30°
0° 180°	Mond....	0,5478 m	0,5313 m	0,4837 m	0,4109 m
360°	Sonne ...	0,2475 m	0,2400 m	0,2186 m	0,1856 m
10° 170°	Mond....	0,5313 m	0,5153 m	0,4691 m	0,3985 m
190° 350°	Sonne ...	0,2400 m	0,2328 m	0,2120 m	0,1800 m
20° 160°	Mond....	0,4837 m	0,4691 m	0,4271 m	0,3628 m
200° 340°	Sonne ...	0,2186 m	0,2120 m	0,1930 m	0,1639 m
30° 150°	Mond....	0,4109 m	0,3985 m	0,3628 m	0,3081 m
210° 330°	Sonne ...	0,1856 m	0,1800 m	0,1639 m	0,1392 m
40° 140°	Mond....	0,3215 m	0,3118 m	0,2839 m	0,2411 m
220° 320°	Sonne ...	0,1452 m	0,1408 m	0,1282 m	0,1089 m
50° 130°	Mond....	0,2263 m	0,2195 m	0,1999 m	0,1697 m
230° 310°	Sonne ...	0,1023 m	0,0992 m	0,0903 m	0,0767 m
60° 120°	Mond....	0,1369 m	0,1328 m	0,1209 m	0,1027 m
240° 300°	Sonne ...	0,0619 m	0,0600 m	0,0546 m	0,0464 m
70° 110°	Mond....	0,0640 m	0,0621 m	0,0566 m	0,0481 m
250° 290°	Sonne ...	0,0290 m	0,0281 m	0,0256 m	0,0217 m
80° 100°	Mond....	0,0165 m	0,0160 m	0,0146 m	0,0124 m
260° 280°	Sonne ...	0,0075 m	0,0072 m	0,0066 m	0,0056 m
90° 270°	Mond u. Sonne	0	0	0	0

Breite β.

40°	50°	60°	70°	80°	90°
0,3215 m	0,2263 m	0,1369 m	0,0640 m	0,0165 m	0
0,1452 m	0,1023 m	0,0619 m	0,0290 m	0,0075 m	0
0,3118 m	0,2195 m	0,1328 m	0,0621 m	0,0160 m	0
0,1408 m	0,0992 m	0,0600 m	0,0281 m	0,0072 m	0
0,2839 m	0,1999 m	0,1209 m	0,0566 m	0,0146 m	0
0,1282 m	0,0903 m	0,0546 m	0,0256 m	0.0066 m	0
0,2411 m	0,1697 m	0,1027 m	0,0481 m	0,0124 m	0
0,1089 m	0,0767 m	0,0464 m	0,0217 m	0,0056 m	0
0,1887 m	0,1328 m	0,0804 m	0,0376 m	0,0097 m	0
0,0852 m	0,0600 m	0,0363 m	0,0170 m	0,0044 m	0
0,1328 m	0,0935 m	0,0566 m	0,0265 m	0,0068 m	0
0,0600 m	0,0423 m	0,0256 m	0,0119 m	0,0031 m	0
0,0804 m	0,0566 m	0,0342 m	0,0160 m	0,0041 m	0
0,0363 m	0,0256 m	0,0155 m	0,0072 m	0,0019 m	0
0,0376 m	0,0265 m	0,0160 m	0,0075 m	0,0019 m	0
0,0170 m	0.0119 m	0,0072 m	0,0034 m	0.0009 m	0
0,0097 m	0,0068 m	0,0041 m	0,0019 m	0,0005 m	0
0,0044 m	0,0031 m	0,0019 m	0,0009 m	0,0002 m	0
0	0	0	0	0	0

Mittelst dieser Zahlen kann man nun beliebige Schnitte der durch Sonne und Mond umgeformten flüssigen Erde construiren. Befinden Sonne und Mond sich in demselben Meridiane und in der Aequatorebene, so hat man die Zahlen, wie sie in der Tabelle stehen, nur zu addiren, um die Form der Erdoberfläche zu erhalten. Befinden Sonne und Mond sich zwar in der Aequatorebene, aber in verschiedenen Meridianen, so hat man die Zahlenreihen vor der Addition derart zu verschieben, dass die höchsten Erhebungen mit den betreffenden Meridianen zusammenfallen. Decliniren Sonne oder Mond, oder Beide, so sind — was auf graphischem Wege sehr leicht ist — die Längen- und Breitengrade gegen einander zu verschieben, wodurch man neue Zahlenreihen erhält, welche sich für die betreffenden Declinationen der Gestirne dann ebenso benutzen lassen, wie die vorstehenden für ihre Stellung in der Aequatorebene.

Die Figuren 3, 9 und 10 sind auf diese Weise construirt; die theoretischen Fluthcurven, Figur 11 und 12, sind auf einfacherem, freilich auch ungenauerem, rein graphischem Wege gefunden.

---

2. Entfernung und Declination von Sonne und Mond.

Die scheinbaren Bewegungen der Sonne sind sehr einfach und wiederholen sich jährlich fast genau in derselben Weise.

Die Entfernung der Sonne ist jetzt am grössten am 2. Juli, am geringsten am 2. Januar. Die erstere beträgt 11 761, die letztere 11 372, und die mittlere 11 567 Erdaequator-Durchmesser. Die Tage der Sonnennähe und Sonnenferne bleiben nicht immer dieselben, sondern verändern sich allmählig; nach 10 400 Jahren werden sie ihre Stellen vertauscht haben.

Die Sonne schneidet zweimal jährlich die Ebene des Aequators; nämlich in den Aequinoctien, den 20. oder 21. März und den 22. oder 23. September. Ihre Abweichung von dieser Ebene, oder ihre Declination, ist im Sommerhalbjahre, also während etwa 186 Tagen, nördlich; im Winterhalbjahre, also während etwa 179 Tagen südlich. Die grösste Abweichung findet statt in den Solstitien; die grösste nördliche um den 22. Juni, die grösste südliche um den 22. December. Die durchschnittliche Declination der Sonne beträgt etwa 14 Grad 35 Minuten.

In den einzelnen Monaten ist die mittlere Entfernung und Declination der Sonne:

Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
Declination	20° 45′ S.	12° 41′ S.	1° 38′ S.	10° 3′ N.	19° 1′ N.	23° 6′ N.
Entfernung	16′ 17,5″	16′ 13,4″	16′ 6,2″	15′ 58,0″	15′ 50,9″	15′ 46,7″

Monat	Juli	August	Septbr.	October	November	December
Declination	21° 3′ N.	13° 26′ N.	2° 35 N.	9° 1′ S.	18° 34′ S.	23° 3′ S.
Entfernung	15′ 46,5″	15′ 50,4″	15′ 57,3″	16′ 5,5″	16′ 13,0″	16′ 17,4″

Die Entfernung ist hier durch den Winkel ausgedrückt, unter dem der Sonnenhalbmesser, vom Erdmittelpunkte gesehen, erscheint; derselbe ist im Durchschnitt des Jahres 16 Minuten 1,9 Secunden.

Die scheinbare Bewegung der Sonne in ihrem jährlichen Laufe ist nicht immer dieselbe, wodurch die Sonnentage bis zu einer halben Minute von ihrer mittleren Länge abweichen. Dies bedingt den Unterschied zwischen wahrer und mittlerer Zeit, welcher bei den Untersuchungen der Tiden zu berücksichtigen ist. Die mittlere Zeit ist durchschnittlich der wahren voran (+) oder hinter ihr zurück (—) in vollen Minuten im Monate:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
+ 10 m	+ 14 m	+ 9 m	0	— 4 m	0

Juli	August	September	October	November	December
+ 5 m	+ 4 m	— 5 m	— 14 m	— 15 m	— 4 m

Die scheinbaren und wirklichen Bewegungen des Mondes sind viel verwickelter als die der Sonne, und sollen nur theilweise, mit besonderer Rücksicht auf den vorliegenden Zweck angeführt werden.

Die Entfernung des Mondes ist sehr veränderlich; sie schwankt zwischen 28,42 und 32,43 Erdaequator-Durchmessern und beträgt durchschnittlich 30,13 Erddurchmesser. Gewöhnlich wird sie durch seine Horizontal-Pallaxe — d. i. durch den Winkel, unter dem der Erdaequator-Halbmesser, vom Mittelpunkte des Mondes gesehen, erscheint — ausgedrückt, und diese ist zwischen 53′ 48″ und 1° 1′ 24″, im Mittel 57′ 2,7″. In einer Periode von etwa 27½ Tagen kommt der Mond aus der Erdnähe bis in die Erdferne und wieder in die Erdnähe zurück, ohne jedoch immer die ebengenannten Grenzwerthe seiner Entfernung zu erreichen. Nach 8,85 Jahren wiederholen sich diese Perioden in derselben Art und Reihenfolge.

Da die vom Monde erzeugte Fluthwelle mit der dritten Potenz seiner Entfernung sich ändert, so unterliegt sie beträchtlichen Schwankungen. Bezeichnet man ihre Grösse bei mittlerer Mondentfernung mit 2,214, so geben nachstehende Zahlen ihre Grösse für die übrigen Entfernungen.

Parallaxe des Mondes	54′	55′	56′	57′	58′	59′	60′	61′
Grösse der Mondwelle	1,88	1,99	2,10	2,21	2,33	2,45	2,58	2,71

Mit der Mondwelle muss sich ihr Verhältniss zur Sonnenfluth ändern, also auch das Verhältniss der Taubentide zur Springtide. Bei mittlerer Entfernung von Sonne und Mond, wenn Beide sich in der Aequatorebene befinden, ist

die Höhe der Taubentide $2{,}214 - 1 = 1{,}214$
die Höhe der Springtide $2{,}214 + 1 = 3{,}214$.

Mithin verhalten sich Beide zu einander wie

$$1{,}214 : 3{,}214 = 1 : 2{,}65.$$

Für die äussersten Grenzen der Mondentfernung verhält sich dagegen bei mittlerer Sonnenentfernung die Taubetide zur Springtide wie 1 : 3,33 beziehlich 1 : 2,17, so dass die Curven der halbmonatlichen Ungleichheit durch die Entfernung des Mondes wesentlich beeinflusst sind.

Die mittlere Declination des Mondes beträgt 15 Grad, schwankt aber in den einzelnen Jahren zwischen etwa 11 und 18 Grad. Sie wechselt in einer Periode von nahezu 27 1/4 Tagen. Während dieses Zeitraumes passirt der Mond zweimal die Aequatorebene, befindet sich ungefähr eben so lange nördlich wie südlich derselben und erreicht auf jeder Seite ungefähr dasselbe Maass der Abweichung. Dieses grösste Maass der Abweichung ist aber ver-

Declination des Mondes im 19jährigen Durchschnitt.

Stunde der Mondes-culmination	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept br.	October	Novbr.	Decbr.
0h 0 m	21°	13°	2°	10°	19°	23°	22°	14°	3°	8°	18°	23°
1h 0 m	18°	6°	4°	15°	22°	23°	19°	8°	4°	14°	21°	23°
2h 0 m	11°	0°	10°	19°	23°	22°	14°	2°	10°	18°	23°	22°
3h 0 m	8°	6°	16°	22°	23°	19°	9°	4°	15°	21°	23°	19°
4h 0 m	3°	12°	20°	23°	22°	14°	2°	10°	19°	23°	22°	15°
5h 0 m	5°	17°	22°	23°	19°	9°	4°	15°	22°	23°	19°	9°
6h 0 m	11°	20°	23°	22°	15°	3°	10°	19°	23°	22°	15°	3°
7h 0 m	16°	23°	23°	19°	10°	4°	15°	23°	23°	19°	10°	3°
8h 0 m	20°	23°	21°	14°	3°	10°	19°	23°	23°	16°	4°	9°
9h 0 m	22°	23°	18°	9°	3°	15°	22°	23°	19°	10°	2°	15°
10h 0 m	23°	20°	14°	3°	9°	19°	23°	21°	15°	4°	9°	19°
11h 0 m	21°	17°	9°	4°	15°	22°	23°	18°	9°	2°	14°	22°

schieden und variirt zwischen etwa $18^1/_3$ und $28^2/_3$ Grad. Während ungefähr neun Jahren nimmt das grösste Maass der Abweichung stetig zu, während ungefähr neun Jahren dann wieder ebenso ab, und nach 18,60 Jahren wiederholen sich die Perioden der Abweichung in derselben Art und Reihenfolge.

Im neunzehnjährigen Durchschnitte ist die Declination des Mondes die mittlere von 15 Grad für jeden der zwölf Monate und auch für jede Stunde seiner Culminationszeit. In den einzelnen Monaten ist sie aber für die einzelnen Culminationsstunden verschieden, wie aus der vorstehenden Tabelle hervorgeht.

Es ist dies wichtig, wenn man die Tiden nach Monaten und Mondesculminationszeiten sondert, weil dann für jede Stunde eine andere Mondesdeclination in Betracht kommt. Trennt man die Tiden auch, wie für manche Zwecke nothwendig ist, nach oberer und unterer Culmination des Mondes, so fällt noch ein anderer Umstand in's Gewicht. Man bemerkt nämlich in dieser Tabelle, dass die Monate paarweise dieselben Declinationen zeigen: Januar und Juli, Februar und August, März und September u. s. w. haben für alle Culminationszeiten des Mondes auch gleiche Declination. Aber doch besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen ihnen: in dem einen der beiden zusammengehörigen Monate ist bei oberer Culmination des Mondes seine Declination nördlich, bei unterer Culmination südlich, während es in dem anderen Monate gerade entgegengesetzt ist. Dieser Unterschied ist wesentlich für die tägliche Ungleichheit der Tiden, wofür noch ein Beispiel angeführt werden wird.

Andere Eigenthümlichkeiten in der Mondesdeclination können sich unter Umständen in den Tiden sehr hervortretend aussprechen.

Nachstehend ist die grösste Declination des Mondes in jedem Monate mit der zugehörigen Culminationszeit 1845 bis 1863 für 19 Jahre angegeben, wobei aber von dreien immer zwei Jahre weggelassen sind, weil sie sich leicht interpoliren lassen. Man sieht daraus, dass die stärkste Declination in jedem Monate eine um

Grösste Declination des Mondes in jedem Monate mit der zugehörigen Culminationszeit. — 1845 bis 1863.

Jahr	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Octbr.	Novbr.	Decbr.	
1845	22°	21°	21°	21°	21°	21°	21°	21°	20°	20°	20°	20°	Declination
	9h	7h	5h	3h	1h	11h	9h	7h	5h	3h	1h	11h	Culminationszeit
1848	18½°	18⅓°	18⅓°	18⅓°	18⅓°	18⅓°	18⅓°	18⅓°	18⅓°	18⅓°	18½°	19°	Declination
	10h	8h	6h	4h	2h	0h	10h	8h	6h	4h	2h	0h	Culminationszeit
1851	21°	21°	21°	21°	21°	22°	22°	22°	22°	22°	22°	22°	Declination
	10h	8h	6h	4h	2h	0h	10h	9h	7h	5h	3h	0h	Culminationszeit
1854	26°	26°	26°	26°	26°	26°	26°	26°	27°	27°	27°	27°	Declination
	11h	9h	7h	5h	3h	1h	11h	9h	7h	5h	3h	1h	Culminationszeit
1857	28°	28½°	28⅔°	28½°	28½°	28½°	28½°	28⅔°	28⅔°	28⅔°	28½°	28½°	Declination
	11h	9h	7h	4h	2h	0h	10h	8h	6h	4h	2h	0h	Culminationszeit
1860	27°	27°	27°	27°	27°	27°	27°	27°	26°	26°	26°	26°	Declination
	10h	8h	6h	4h	2h	0h	10h	8h	6h	3h	1h	0h	Culminationszeit
1863	23°	22°	22°	22°	22°	22₀	22°	22°	21°	21°	21°	21°	Declination
	9h	7h	5h	3h	1h	11h	9h	7h	5h	3h	1h	11h	Culminationszeit

zwei Stunden frühere Culminationszeit trifft, als im vorigen Monate, so dass sie nach Verlauf eines Jahres wieder auf dieselbe Tagesstunde trifft. Dr. J. B. Lorenz berichtet (Physikalische Verhältnisse im Quarnerischen Golfe. Wien 1863) dasselbe von den Tiden bei Fiume, nämlich dass sie sich monatlich um zwei Stunden verspäten und nach Verlauf eines Jahres wieder auf dieselbe Tagesstunde fallen. Diese Thatsache lässt auf eine sehr starke tägliche Ungleichheit schliessen, wobei eine der Tiden des Tages durch die andere fast verdeckt wird, wie dasselbe auch an anderen Orten beobachtet ist. Die Tiden von Fiume sind im Uebrigen nicht ganz ungewöhnlich.

Endlich ist noch die vornehmste Periode in der Bewegung des Mondes zu betrachten, diejenige welche den auffälligsten Wechsel in der Höhe der Tiden, nämlich den zwischen Springfluthen und Taubenfluthen erzeugt. Diese Periode ist der synodische Monat von $29^{d}\ 12^{h}\ 44^{m}\ 2{,}9^{s}$, welcher die Zeit von einem Neumond bis zum nächsten, oder von einem Vollmond bis zum nächsten umfasst. Neu- und Vollmond heissen die Syzygien, das erste und letzte Viertel des Mondes, seine Quadraturen. Die Tage der Syzygien und Quadraturen darf man nicht mit denjenigen verwechseln, an denen Mond und Sonne gleichzeitig oder sechs Stunden nach einander culminiren; ein synodischer Monat enthält nämlich keine volle Zahl von halben Mondestagen, sondern etwas über 57, also auch ebensoviel Tiden, und wenn bei einem Vollmonde Sonne und Mond gleichzeitig culminiren, so ist dies beim nächsten nicht mehr der Fall, und der Augenblick des Vollmondes trifft nicht mehr mit der Culmination der Sonne zusammen. Für die Tiden ist deshalb nur der Unterschied in der Culminationszeit von Sonne und Mond maassgebend. Ein Zeitraum von 19 Jahren zu 365,24 222 Tagen enthält bis auf wenige Stunden genau 235 synodische Monate, aber auch dieser enthält keine volle Zahl, sondern 13 $409^{1}/_{3}$ Tiden. Auf ein gemeines Jahr treffen in runder Zahl 705, auf ein Schaltjahr 707 Tiden.

Die Länge der Mondestage ist viel veränderlicher als die der Sonnentage. Im Mittel beträgt sie $24^{h}\ 50^{m}\ 28{,}32^{s}$, schwankt aber zwischen etwa $24^{h}\ 38^{m}$ und $25^{h}\ 8^{m}$. Ein weiterer Grund, die Dauer einer Tide noch veränderlicher zu machen.

3. Tide, mit langem i, ist das an der deutschen Nordseeküste und den deutschen Tideströmen allein gebräuchliche Wort, statt des in der Schriftsprache eingeführten »Gezeit«. Man sagt: »Tidearbeiten«, »Tideschifffahrt«, »Tidehäfen«, und, »wo sind wir in der Tide?«, »mit der Tide gehen« — Worte und Wendungen, welche mit »Gezeit« zusammengesetzt Niemand verstehen würde. Die Schriftsprache ist leider in dieser Beziehung noch völlig unausbildet, sonst hätte sie sich nicht bisher mit dem ganz isolirten Worte »Gezeit« behelfen können. Man wird auch kaum behaupten können, dass das Wort »Tide« aus England importirt sei, denn im Englischen wird es Teid' ausgesprochen und bei allen sonstigen in der Seemannssprache eingebürgerten englischen Worten ist auch die englische Aussprache beibehalten.

4. Registrirender Fluthmesser. Dieses nützliche Instrument ist von dem englischen Civilingenieur Henry R. Palmer in London im Jahre 1831 erfunden; wenigstens ist mir keine frühere Erwähnung desselben vorgekommen. Der registrirende Fluthmesser befindet sich gewöhnlich in einem kleinen Gebäude, welches über einem brunnenartigen Schachte steht, der bis unter den niedrigsten Wasserstand hinabreicht und dort durch eine Röhre mit dem Flusse oder Meere, dessen Wasserstände registrirt werden sollen, verbunden ist. In dem Schachte bewegt sich, in Form eines runden kupfernen Kessels, ein Schwimmer mit dem wechselnden Wasserstande auf und nieder. In der Mitte des Schwimmers ist eine leichte Kette befestigt, die oben im Gebäude über ein Rad geleitet ist, und durch ein Gegengewicht stets in dem Zustande gleicher Spannung erhalten wird. Nächst dem Schwimmer mit dem Rade bildet den zweiten Haupttheil des Instrumentes ein mit Papier umspannter, senkrechter Cylinder, welcher durch ein Uhrwerk gleichmässig um seine Axe gedreht wird. Das durch den Schwimmer gedrehte Rad greift in eine gezahnte Stange, die einen Schreibstift trägt, welcher sich in demselben Verhältnisse wie der auf- und abgehende Schwimmer bewegt, und indem dieser Stift fortwährend leise gegen den drehenden Cylinder, auf welchem die Tagesstunden angegeben sind, gedrückt wird, zeichnet er in jedem Augenblicke die Höhe des Wasserstandes auf das den Cylinder umgebende Papier. Dies Papier wird von Zeit zu Zeit durch Neues ersetzt und auf den abgenommenen Bögen hat man die Fluthcurven oder die sonstigen Schwankungen des Wasserstandes für

die Zeit, welche sie auf dem Cylinder sassen, mit unnachahmlicher Genauigkeit erhalten. Ist das Instrument gut und die Behandlung desselben sorgfältig, so erhält man mit Hülfe desselben so genaue Resultate, wie sie sich durch unmittelbare Beobachtung nicht erzielen lassen; namentlich diejenigen Schwankungen des Wasserspiegels, welche sich innerhalb weniger Minuten wieder ausgleichen, lassen sich auf keine andere bekannte Weise so naturgetreu wiedergeben.

In den Einzelheiten der Construction weichen die registrirenden Fluthmesser sehr von einander ab. Ein passender Platz für dieselben ist oft schwierig zu finden und ihre Aufstellung bisweilen mit grossen Weitläufigkeiten verknüpft. — Z. B. der Fluthmesser bei dem Helder steht hinter dem Seedeiche und ist durch eine, unter dem Deiche durchgeführte, 0,24 ^{m} weite, Rohrleitung von 52 ^{m} Länge mit dem Meere verbunden; die Herstellung dieser Rohrleitung nahm fünftehalb Jahre in Anspruch, weil nur während der niedrigsten Ebben daran gearbeitet werden konnte.

5. Die halbmonatliche Ungleichheit der Höhe für Cuxhaven ist auf folgende Weise gefunden. Die Höhen sämmtlicher in den dreizehn Jahren 1843 bis 1855 eingetretenen Hoch- und Niedrigwasser wurden in je 24 Gruppen geordnet: zur ersten Gruppe gehörten diejenigen Hochwasser, bez. die diesen Hochwassern vorangegangenen Niedrigwasser, welche eingetreten waren, wenn der Mond nach wahrer Zeit zwischen $11^{3}/_{4}$ und $12^{1}/_{4}$ Uhr culminirte; zur zweiten die, welche eingetreten waren, wenn der Mond nach wahrer Zeit zwischen $12^{1}/_{4}$ und $12^{3}/_{4}$ culminirte u. s. w. eine Gruppe für jede halbe Stunde. Diese vierundzwanzig Gruppen wurden einzeln addirt und aus jeder die Mittelzahl berechnet. Diese Mittelzahlen für Hochwasser, Niedrigwasser und die daraus sich ergebenden Fluthgrössen wurden ähnlich wie in Figur 18 aufgezeichnet und durch Linien verbunden. Da diese Linien nicht ganz stetig verliefen, so wurden sie corrigirt, wobei indess jede Willkür fast völlig ausgeschlossen war, weil die drei Linien für Hochwasser, Niedrigwasser und Fluthgrösse gleichzeitig berücksichtigt werden mussten. Die Correcturen blieben übrigens unbedeutend und erreichten sehr selten 0,02 ^{m}. Die derart für dreizehn Jahre gefundene halbmonatliche Ungleichheit ist, ohne die Form der Curven irgendwie zu ändern, auf die mittleren Hoch- und Niedrigwasserhöhen der beiden neunzehnjährigen Zeiträume 1843 bis 1861 und

Cuxhaven. Halbmonatliche Ungleichheit

Zeit der 5. Mondes-culmination vor Hoch-wasser	der Höhe. $18\frac{43-61}{57-75}$				der Zeit. 1843—61		
					Hafenzeiten		
	Hoch-wasser	Niedrig-wasser	Fluth-grösse	Mittlerer Wasser-stand	Hoch-wasser	Niedrig-wasser	Fluth-dauer
12	4,947 m	1,841 m	3,106 m	3,487 m	+ 2h 7′	— 3h 18′	5h 25′
12½	4,944 m	1,842 m	3,102 m	3,486 m	+ 2h 0′	— 3h 26′	5h 26′
1	4,935 m	1,844 m	3,091 m	3,482 m	+ 1h 51′	— 3h 35′	5h 26′
1½	4,911 m	1,847 m	3,064 m	3,471 m	+ 1h 43′	— 3h 43′	5h 26′
2	4,879 m	1,856 m	3,023 m	3,458 m	+ 1h 36′	— 3h 51′	5h 27′
2½	4,837 m	1,877 m	2,960 m	3,446 m	+ 1h 28′	— 4h 0′	5h 28′
3	4,792 m	1,910 m	2,882 m	3,437 m	+ 1h 22′	— 4h 8′	5h 30′
3½	4,747 m	1,942 m	2,805 m	3,429 m	+ 1h 17′	— 4h 16′	5h 33′
4	4,705 m	1,984 m	2,721 m	3,426 m	+ 1h 12′	— 4h 24′	5h 36′
4½	4,667 m	2,041 m	2,626 m	3,433 m	+ 1h 10′	— 4h 28′	5h 38′
5	4,625 m	2,095 m	2,530 m	3,436 m	+ 1h 11′	— 4h 30′	5h 41′
5½	4,586 m	2,154 m	2,432 m	3,443 m	+ 1h 18′	— 4h 26′	5h 44′
6	4,553 m	2,202 m	2,351 m	3,448 m	+ 1h 32′	— 4h 17′	5h 49′
6½	4,571 m	2,205 m	2,366 m	3,459 m	+ 1h 48′	— 4h 1′	5h 49′
7	4,616 m	2,178 m	2,438 m	3,470 m	+ 2h 5′	— 3h 39′	5h 44′
7½	4,667 m	2,137 m	2,530 m	3,478 m	+ 2h 21′	— 3h 21′	5h 42′
8	4,711 m	2,089 m	2,622 m	3,479 m	+ 2h 31′	— 3h 10′	5h 41′
8½	4,765 m	2,044 m	2,721 m	3,486 m	+ 2h 36′	— 3h 1′	5h 37′
9	4,813 m	2,002 m	2,811 m	3,492 m	+ 2h 37′	— 2h 56′	5h 33′
9½	4,858 m	1,958 m	2,900 m	3,495 m	+ 2h 37′	— 2h 54′	5h 31′
10	4,888 m	1,919 m	2,969 m	3,493 m	+ 2h 34′	— 2h 55′	5h 29′
10½	4,912 m	1,886 m	3,026 m	3,490 m	+ 2h 29′	— 2h 59′	5h 28′
11	4,932 m	1,865 m	3,067 m	3,491 m	+ 2h 22′	— 3h 4′	5h 26′
11½	4,944 m	1,847 m	3,097 m	3,488 m	+ 2h 15′	— 3h 11′	5h 26′
Mittel	4,784 m	1,982 m	2,802 m	3,467 m	+ 1h 55′	— 3h 39′	5h 34′

1857 bis 1875, und dann vom ersten auf den fünften Monddurchgang vor Hochwasser reducirt. Dadurch ergeben sich die vorstehenden Zahlen, welche etwas, aber nicht wesentlich, von der unmittelbar aus einem neunzehnjährigen Zeitraume bestimmten halbmonatlichen Ungleichheit abweichen werden.

Auf dieselbe Weise ist die daneben stehende halbmonatliche Ungleichheit der Zeit für Cuxhaven ermittelt. Da die Eintrittszeiten der zwischen Abends acht Uhr und Morgens fünf Uhr eingetretenen Hoch- und Niedrigwasser aber nicht beobachtet waren, so ist täglich nur ein Hoch- und ein Niedrigwasser — wenn möglich, das dem Hochwasser vorangehende Niedrigwasser — benutzt. Die dadurch aus den neunzehn Jahren 1843 bis 1861 gefundene halbmonatliche Ungleichheit der Zeit ist dann ebenfalls corrigirt — nur einmal überstieg die Correctur zwei Minuten — und auf den fünften Monddurchgang vor Hochwasser reducirt.

Die Zahlen sind also folgendermaassen zu verstehen: z. B. der Mond culminirt heute um Mittag oder Mitternacht, dann tritt übermorgen Hochwasser um $2^h\ 7'$ und Niedrigwasser $3^h\ 18'$ vor Mittag oder Mitternacht, also um $8^h\ 42'$ ein, woraus sich die Fluthdauer gleich $5^h\ 25'$ ergiebt. Die Höhe des Hochwassers ist 4,947 ^{m} und die Höhe des Niedrigwassers 1,841 ^{m} am Fluthmesser.

Da die eben erwähnte Zusammenstellung der Tiden anfänglich nicht nur nach der Culminationszeit des Mondes, sondern auch nach den Monaten getrennt erfolgte, so konnte daraus auch der im Texte besprochene, durchschnittliche Einfluss der Declination des Mondes gefunden werden. Da mit jeder Stunde der Mondesculmination in jedem Monate eine bestimmte Mondesdeclination verbunden ist, so können die Abweichungen der Höhen und Eintrittszeiten in den einzelnen Monaten von den mittleren Höhen und Eintrittszeiten nur durch die Mondesdeclination veranlasst sein, wodurch also der durchschnittliche Einfluss der letzteren gegeben ist.

6. Zur Berechnung der Cuxhavener Tiden sind noch die Monatsmittel der Höhe von Hoch- und Niedrigwasser erforderlich, die nebenstehend im Durchschnitte der beiden neuzehnjährigen Zeiträume 1843 bis 1861 und 1857 bis 1875 angegeben sind. Bei der Berechnung einer Tide für irgend einen Monat sind also die aus der halbmonatlichen Ungleichheit gefundenen Höhen um soviel zu corrigiren, wie die mittleren Höhen des Monates vom Jahresmittel abweichen. Ausserdem sind die im Texte entwickelten

Monatsmittel in Cuxhaven.

$18\frac{43—61}{57—75}$

Monat	Hochwasser	Niedrigwasser	Fluthgrösse
Januar	4,735 m	1,990 m	2,745 m
Februar	4,764 m	1,964 m	2,800 m
März	4,729 m	1,873 m	2,856 m
April	4,749 m	1,835 m	2,914 m
Mai	4,737 m	1,824 m	2,913 m
Juni	4,817 m	1,919 m	2,898 m
Juli	4,847 m	1,992 m	2,855 m
August	4,844 m	2,046 m	2,798 m
September	4,823 m	2,082 m	2,741 m
October	4,808 m	2,105 m	2,703 m
November	4,784 m	2,089 m	2,695 m
December	4,771 m	2,066 m	2,705 m
Mittel	4,784 m	1,982 m	2,802 m

Correcturen für Parallaxe und Declination des Mondes, sowie für tägliche Ungleichheit anzubringen; die beiden ersteren auch für die Eintrittszeiten.

7. Die Methode der harmonischen Analyse darf nicht nach der im Texte erfolgten Anwendung derselben beurtheilt werden, denn in ihrer ganzen Ausdehnung ist sie sehr viel verwickelter und in ihren Resultaten exacter. Ich muss in dieser Beziehung auf die Berichte der genannten Gesellschaft verweisen und gebe hier nur kurze Andeutungen, um einige Bemerkungen über die Resultate selbst daran knüpfen zu können.

Professor Thomson adoptirt die Laplace'sche Vorstellung, welche, behufs Vereinfachung der Rechnung, die Fluthwelle durch eine Anzahl fingirter Sterne sich hervorgebracht denkt. Einer dieser Sterne ist die »mittlere Sonne«, welche sich mit der mittleren Geschwindigkeit und in der mittleren Entfernung der wirklichen Sonne in der Ebene des Aequators bewegt; ein zweiter ist der »mittlere Mond«, welcher sich mit der mittleren Geschwindigkeit und

in der mittleren Entfernung des wirklichen Mondes gleichfalls in der Ebene des Aequators bewegt. Diese beiden Gestirne erzeugen die »mittlere Sonnen- und die mittlere Mondwelle« und für jede Art der Abweichung der Bewegungen von Sonne und Mond von den Bewegungen der »mittleren« Sonne und des »mittleren« Mondes sind andere Sterne fingirt, die ebenfalls Wellen (tidalconstituents, d. i. Bestandtheile der wirklichen Fluthwelle) hervorbringen, welche sich mit jenen vereinigen, und zwar der Art, dass die Gesammtheit dieser Wellen die dem jedesmaligen Stande von Sonne und Mond entsprechende Fluthwelle darstellt. Um diese Wellen aus den Beobachtungen irgend eines Küstenpunktes abzuleiten, werden die während eines Jahres von Stunde zu Stunde stattgehabten Wasserstände nach den verschiedenen Perioden der Bewegungen der verschiedenen Sterne genau in der Art gruppirt, wie dies im Texte mit den sechswöchentlichen Beobachtungen zur Bestimmung der Sonnen- und Mondwelle geschehen oder beschrieben ist. Dadurch ergeben sich für die Welle jedes Sternes vierundzwanzig Werthe, welche in Gleichungen gebracht und mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate corrigirt werden. Damit sind die den astronomischen Perioden von kurzer Dauer (d. i. nicht mehr als eintägiger) entsprechenden Theile der Fluthwelle bestimmt, und es erübrigt diejenigen von längerer Dauer (d. i. vierzehntägiger, halb- oder ganzjähriger) zu ermitteln. Darüber sagt Professor Thomson: »Zur Bestimmung der Tiden von langer Periode müssen die mittleren Höhen der Tide für jeden Sonnentag, d. i. das Mittel aus den Höhen der vierundzwanzig Stunden jedes Tages, genommen werden. Dies giebt 365 Mittel in einem gewöhnlichen Jahre; in einem Schaltjahre muss das letzte Mittel unberücksichtigt bleiben, weil die folgenden Gleichungen nur für 365 Mittel eingerichtet sind. Es ist nothwendig, die so erhaltenen Mittel von allem ungehörigen Einflusse des Mondes zu reinigen . . . .« (Hier folgt die Anweisung, wie diese Reinigung vorzunehmen, die jedoch ohne vollständige Darlegung der Methode unverständlich sein würde.) « . . Die mittlere Höhe, weniger der Summe dieser Correcturen, giebt das corrigirte Mittel jedes Tages. Der nächste Schritt ist, das Mittel aus den 365 corrigirten Mitteln zu nehmen, und das corrigirte tägliche Mittel jedes Tages von der derart gefundenen mittleren Höhe des Jahres abzuziehen. Dadurch ergeben sich 365 kleine Unterschiede (weiter unten benannt σ h), und diese Unterschiede

sind es, auf welche die Berechnung der Tiden von langer Periode gegründet ist.«

Die Werthe für die Tiden von langer Periode wurden auf diese Weise von sehr geringer und aus verschiedenen Jahren auch von sehr verschiedener Grösse gefunden; wenn man aber aus den ermittelten Tiden von kurzer Periode die Wasserstände einzelner Tage berechnete, so stimmten diese mit den beobachteten Wasserständen ausserordentlich gut überein, falls man sie nach Maassgabe der Abweichung der mittleren Wasserstände dieser Tage vom mittleren Wasserstande des ganzen Jahres corrigirte. Nichtsdestoweniger blieben Fehlerdifferenzen übrig und Professor Thomson suchte nach weiteren Tiden, um mit ihrer Hülfe diese Differenzen völlig zu beseitigen. Nun hat bekanntlich Helmholtz, der berühmte deutsche Physiker, entdeckt, dass wenn zwei einfache harmonische und genügend starke Töne, deren Argumente m t und n t sind, gleichzeitig erklingen, andere Töne mit den Argumenten (m + n) t und (m—n) t erzeugt werden. Etwas Aehnliches, vermuthete Sir William Thomson, müsse durch die Zusammenwirkung der Sonnen- und Mondwelle hervorgebracht werden und das Resultat seiner Nachforschungen waren die »lunisolar Helmholtz compound shallow-water tides«, die er namentlich dort vertreten fand, wo die Fluthgrösse, im Vergleiche mit der ganzen Wassertiefe, auf einer längeren Strecke beträchtlich war.

Unter der unmittelbaren Leitung von Professor Thomson wurden etwa vierzig Jahrgänge von Wasserstandsbeobachtungen durch Herrn E. Roberts und eine Anzahl von Hülfsrechnern nach der Methode der harmonischen Analyse zergliedert, wobei ein unermesslich grosses Arbeitsquantum geleistet wurde. Die Beobachtungen vertheilen sich auf funfzehn Küstenpunkte, für welche in den Berichten meistentheils nur die Grundlagen zur Berechnung der Wasserstände mitgetheilt sind. Für drei Orte aber sind Beispiele berechnet und von diesen will ich dasjenige, welches die günstigsten Resultate aufzuweisen hat, näher betrachten. Es bezieht sich auf Kurrachee (24° 53′ N. Br. 67° 0′ O. von Greenwich) in Ostindien und ist deshalb günstiger für die Methode der harmonischen Analyse als die anderen beiden Beispiele, welche sich auf Liverpool und Fort Point (San Franzisco Bay in Californien) beziehen, weil die Abweichungen der mittleren Wasserstände der einzelnen Tage vom

mittleren Wasserstande des ganzen Jahres ganz ausserordentlich unbedeutend waren.

Die Wasserstände von Kurrachee sind für drei auf einander folgende Jahre untersucht; bei dem folgenden Beispiele sind aber nur die aus dem ersten Jahre, 1868 bis 1869, gewonnenen Resultate benutzt, ausgenommen die mit R und T bezeichneten Tiden, welche aus diesem und dem folgenden Jahre gewonnen sind. Die Tiden von langer Periode sind bei der Berechnung ganz weggelassen, »weil die für sie aus den auf einander folgenden Jahren gefundenen Werthe nicht gut mit einander übereinstimmten.«

Die Bezeichnung, Periode und Fluthgrösse der bei der Berechnung benutzten Tiden ist wie folgt:

№	Bezeichnung	Fluthgrösse	Periode	
1	S.	1,94 Fuss	12,0000h	Mittlere halbtägige Sonnentide.
2	M.	5,30 „	12,4206h	Mittlere halbtägige Mondtide.
3	K.	2,46 „	23,9345h 11,9672h	Eintägige und halbtägige Sonnen-Mondtide (Declinations-)
4	O.	1,14 „	25,8194h	Eintägige Mond-Declinationstide.
5	P.	0,75 „	24,0659h	Eintägige Sonnen-Declinationstide
6	L.	0,16 „	12,1916h	Halbtägige elliptische Mondtide.
7	N.	1,24 „	12,6584h	
8	λ.	0,12 „	12,2218h	Halbtägige Sonnen-Mondtide. (Evection und Variation)
9	ν	0,39 „	12,6260h	
10	μ.	0,14 „	12,8718h	
11	J.	0,16 „	23,0985h	Eintägige elliptische Mondtide (Correctur der eintägigen Mond-Declinations-Tiden für Parallaxe.)
12	Q.	0,22 „	26,8684h	
13	R.	0,07 „	11,9836h	Halbtägige elliptische Sonnentide.
14	T.	0,22 „	12,0165h	
15	MS.	0,03 „	6,1033h	Vierteltägige Sonnenmondtide (Helmholtz).

Aus diesen funfzehn Tiden sind die nachstehend aufgeführten Wasserstände des 2. Novembers 1868 berechnet. Denselben sind die beobachteten Wasserstände nebst den Unterschieden zwischen Berechnung und Beobachtung beigefügt, und da der Wasserstand dieses Tages um 0,15 Fuss höher war als der mittlere Wasserstand des Jahres, sind in der letzten Spalte diesen Unterschieden 0,15 Fuss addirt worden. Die Unterschiede der letzten

Wasserstände in Kurrachee am 2. November 1868.

Stunde	Wasserstand		Unterschied		Stunde	Wasserstand		Unterschied	
	Berechnet Fuss	Beobachtet Fuss	Fuss	+0,15′		Berechnet Fuss	Beobachtet Fuss	Fuss	+0,15′
Mittag	9,52′	9,7′	—0,18′	—0,03′	Mitternacht	11,04′	11,0′	+0,04′	+0,19′
1h	7,86′	7,9′	—0,04′	+0,11′	13h	10,36′	10,4′	—0,04′	+0,11′
2h	5,80′	5,8′	0	+0,15′	14h	9,04′	9,1′	—0,06′	+0,09′
3h	3,91′	4,0′	—0,09′	+0,06′	15h	7,49′	7,7′	—0,21′	—0,06′
4h	2,62′	2,7′	—0,08′	+0,07′	16h	6,20′	6,4′	—0,20′	—0,05′
5h	2,14′	2,3′	—0,16′	—0,01′	17h	5,46′	5,6′	—0,14′	0,01
6h	2,53′	2,7′	—0,17′	—0,02′	18h	5,38′	5,5′	—0,12′	+0,03′
7h	3,92′	4,2′	—0,28′	—0,13′	19h	6,07′	6,4′	—0,33′	—0,18′
8h	5,92′	6,0′	—0,08′	+0,07′	20h	7,45′	7,6′	—0,15′	0
9h	8,00′	8,0′	0	+0,15′	21h	8,91′	9,1′	—0,19′	—0,04′
10h	9,74′	9,8′	—0,06′	+0,09′	22h	9,94′	10,1′	—0,16′	—0,01′
11h	10,78′	10,8′	—0,02′	+0,13′	23h	10,30′	10,5′	—0,20′	—0,05′

Spalte, welche als Fehlerdifferenzen betrachtet werden müssen, betragen durchschnittlich, abgesehen vom Vorzeichen, nicht mehr als 0,08 Fuss und höchstens + 0,19 bez. — 0,18 Fuss; sie sind also ausserordentlich unbedeutend, aber, da ein einzelner Tag besonders günstige Resultate ergeben kann, so wird es erlaubt sein, auch eine längere Reihe von Tagen in Betracht zu ziehen. Die soeben mitgetheilten Vergleiche für den 2. November sind in dem Bericht für das Jahr 1872 enthalten, und in dem Bericht für 1870, also zwei Jahre früher, sind die Wasserstände von Stunde zu Stunde für die Zeit vom 1. bis 29. November berechnet und mit den

beobachteten verglichen. Bei dieser Berechnung sind die fünf letzten Tiden des Verzeichnisses, also die Tiden IQRT und MS, noch nicht benutzt, und deshalb sind die Resultate für den zweiten November ungünstiger, nämlich der mittlere Fehler ist 0,11 Fuss, der grösste Fehler des Tages + 0,25 bez. — 0,28 Fuss. Aber auch bei Berücksichtigung dieses Unterschiedes zwischen den Resultaten von 1870 und 1872, stellt sich das Resultat des ersteren Jahres im Ganzen weniger günstig als das des zweiten, denn die mittlere Fehlerdifferenz ist 0,18 Fuss, die grösste des Tages im Durchschnitte der neunundzwanzig Tage + 0,39 bez. — 0,41 Fuss. Dabei ist der mittlere Wasserstand der einzelnen Tage während des ganzen Zeitraumes sehr geringem Wechsel unterworfen, denn er schwankt mit dem Jahresmittel verglichen nur zwischen + 0,40 und — 0,26 Fuss, und die grösste Aenderung von einem Tage zum andern beträgt nur 0,22 Fuss. Diese Stetigkeit des mittleren Wasserstandes ist zweifelsohne der Berechnung sehr günstig und da die mittlere Fluthgrösse von Kurrachee nur 6,9 Fuss beträgt, so kann man einen mittleren Fehler der Berechnung von 0,15 Fuss und einen täglichen grössten Fehler von ± 0,32 Fuss (diese beiden Zahlen ergeben sich, wenn man die Fehlerdifferenzen der neunundzwanzig Tage um den Unterschied zwischen denjenigen für den 2. November von 1870 und von 1872 verringert) nicht unberücksichtigt lassen. Es ist auch darauf hinzuweisen, dass, obgleich im Allgemeinen die positiven Fehler etwa ebenso gross sind wie die negativen, stellenweise die Fehlerdifferenzen sich rhythmisch concentriren, z. B. am 7. November:

4^h a. m. 0,00	10^h a m. — 0,19′	4^h p. m. 0,00
5^h » + 0,27′	11^h » — 0,56′	5^h » + 0,19′
6^h » + 0,20′	Mittag » — 0,62′	6^h » + 0,20′
7^h » + 0,19′	1^h p. m. — 0,50′	7^h » + 0,08′
8^h » + 0,10′	2^h » — 0,35′	8^h » + 0,12′
9^b » + 0,05′	3^h » — 0,30′	9^h » + 0,27′

erreichen die Fehler von Morgens 11 Uhr bis Nachmittags 3 Uhr eine durchschnittliche Grösse von — 0,47 Fuss und zwar zu einer Zeit, in der das Wasser höchstens 0,7 Fuss in der Stunde stieg. Wenn es sich nur um praktische Zwecke handelte, so würden diese Differenzen keine Bedenken erregen, aber in wissenschaftlicher Beziehung sind sie keineswegs ohne Interesse, denn sie lassen die

Frage gerechtfertigt erscheinen, ob die zahlreichen Tiden mit geringen Fluthgrössen — zehn von den funfzehn haben Fluthgrössen zwischen drei und fünfundsiebenzig hundertstel Fuss — wirklich in der Natur in dieser Grösse vorhanden sind, und namentlich die andere Frage, ob sämmtliche Tiden — mit Ausnahme der Helmholtz'schen Tide von nur 0,03 Fuss Fluthgrösse — unmittelbar durch die Stellung von Sonne und Mond bedingt sind, ob also alle Veränderungen, welche die Fluthwelle durch terrestrische Einflüsse erleidet, sich durch astronomische Perioden darstellen lassen. Professor Thomson macht allerdings darauf aufmerksam, dass gerade in seichten Gewässern die Helmholtz'sche Tide starken Veränderungen unterworfen sei, und führt als Beleg die Tiden von Liverpool und Helbre-Island an. Die Insel Helbre liegt in der Mündung des Dee, in gerader Linie nur acht Meilen von Liverpool entfernt, aber unmittelbar an der See. An beiden Orten haben die Haupttiden fast dieselben Fluthgrössen, nämlich:

	Liverpool	Helbre
Fluthgrösse der mittleren Sonnentide	6,32′	6,26′
„ „ „ Mondtide	20,05′	19,63′
Die Helmholtz'sche Tide dagegen hat merklich verschiedene Fluthgrössen:	0,82′	0,56′

und zwar in Liverpool die bedeutendere, worin also der Einfluss des seichteren Flussbettes erkennbar sein soll. Für Cuxhaven, welches in dieser Beziehung gewiss ungünstiger liegt als Liverpool, finde ich aus der sechswöchentlichen Periode des Frühjahres 1876 für die Helmholtz'sche Tide von 6,1033 Stunden Periode die folgenden Werthe:

0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h
—0,001m	— 0,002m	— 0,008m	— 0,012m	— 0,004m	+ 0,010m	+ 0,017 m

folglich für dieselbe nur eine Fluthgrösse von 0,029 m oder weniger als ein Zehntel Fuss. Ausser dieser giebt es nach Professor Thomson noch andere Helmholtz'sche Tiden, z. B. eine vierstündige, die sich jedoch für Cuxhaven z. B. kaum nachweisen lässt:

0h	1/2h	1h	1 1/2h	2h	2 1/2h
+ 0,0001 m	— 0,0019 m	— 0,0014 m	— 0,0009 m	+ 0,0017 m	+ 0,0021 m

3h	3 1/2h
+ 0,0014 m	— 0,0012 m

da ihre Fluthgrösse auf 0,004 m beschränkt bleibt.

Wenn die sämmtlichen von Professor Thomson aufgestellten Tiden thatsächlich durch die entsprechenden Veränderungen der Stellung von Sonne und Mond zur Erde veranlasst werden, dann müssten sie, sollte man erwarten, in einem Jahre ebenso gross sein wie in dem andern, denn Sonne und Mond werden doch stets in genau gleicher Weise wirken. Die Fluthgrössen der Tiden ändern sich aber ziemlich beträchtlich von einem Jahre zum andern, wie die folgenden Beispiele beweisen.

Fluthgrösse der mittleren Sonnentide bei Helbre:

1858	1859	1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867
6,28′	6,35′	6,32′	6,34′	6,24′	6,24′	6,18′	6,18′	6,21′	6,21′

Fluthgrösse der mittleren Sonnentide bei Kurrachee.

1868—69	1869—70	1870—71	1871—72	1872—73
1,86′	1,88′	1,84′	1,90,	1,90′

Fluthgrösse der mittleren Sonnentide bei Liverpool:

1857—58	1858—59	1859—60	1866—67	1867—68	1868—69	1869—70
6,43′	6,62′	6,39′	6,26′	6,20′	6,24′	6,10′

Die Unterschiede betragen also bei Helbre bis 0,16 Fuss, bei Kurrachee bis 0,06 Fuss und bei Liverpool bis zu 0,52 Fuss.

Fluthgrösse der mittleren Mondtide.

Helbre-Island.

1858	1859	1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867
18,86′	18,96′	19,45′	19,48′	19,56′	19,73′	19,98′	20,19′	20,14′	20,01′

Kurrachee.

1868—69	1869—70	1870—71	1871—72	1872—73
5,17′	4,99′	4,94′	4,96′	4,87′

Liverpool.

1857—58	1858—59	1859—60	1866—67	1867—68
19,35′	19,62′	19,79′	20,54′	20,53′

1868—69	1869—70
20,24′	20,29′

Die Unterschiede betragen hier bez. bis 1,33 Fuss, 0,30 Fuss, 1,19 Fuss und im Allgemeinen geht die Fluthgrösse mit der Mondesdeclination parallel, d. h. je geringer die Mondesdeclination des Jahres, je grösser seine Fluthgrösse. Wenn aber wirklich die »mittlere Mondwelle«, diejenige, welche der Mond in der Ebene des Aequators bei mittlerer Geschwindigkeit und Entfernung erzeugt, durch die harmonische Analyse gefunden wäre, so müsste diese in allen Jahren dieselbe Fluthgrösse haben.

Aehnliche Unterschiede ergeben sich für die übrigen Tiden von denen ich einige beliebig auswähle.

Helbre-Island.

Tide	1858	1859	1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867
L	0,95′	1,12′	0,54′	0,78′	0,53′	0,70′	0,87′	0,97′	0,84′	1,11′
N	3,58′	3,68′	3,51′	3,73′	3,71′	3,75′	3,95′	3,83′	3,78′	3,84′
λ	0,28′	0,40′	0,11′	0,40′	0,51′	0,37′	0,56′	0,54′	0,53′	0,22′
V	0,36′	0,62′	0,43′	1,24′	0,74′	1,24′	1,37′	1,41′	1,08′	0,36′

Kurrachee.

	1868—69	1869—70	1870—71	1871—72	1872—73
L	0,16′	0,07′	0,16′	0,10′	0,31′
N	1,24′	1,20′	1,15′	1,29′	1,19′
λ	0,12′	0,08′	0,09′	0,17′	0,15′
V	0,39′	0,17′	0,16′	0,28′	0,38′

Liverpool.

	1857—58	1858—59	1859—60	1866—67	1867—68	1868—69	1869—70
L	1,01′	1,57′	0,69′	1,20′	1,17′	1,03′	0,93′
N	3,72′	3,52′	3,94′	4,32′	3,82′	3,66′	3,78′
λ	0,82′	0,45′	0,23′	0,47′	0,43′	0,39′	0,38′
V	1,48′	1,26′	0,57′	1,44′	1,01′	0,28′	1,38′

Wie ist es zu erklären, dass die Fluthgrösse einzelner dieser Tiden in einem Jahre zwei-, drei- und selbst fünfmal so gross ist als in den anderen Jahren? Aus welchem Jahre wählt man die Tiden, um die Tiden irgend eines künftigen Jahres zu berechnen? Fragen, auf die Professor Thomson keine Antwort giebt. Die von ihm berechneten Beispiele sind demselben Jahre entnommen, dessen Tiden vorher zerlegt worden sind, und es scheint nicht, dass die harmonische Analyse bis jetzt Mittel an die Hand giebt, um aus

weniger als neunzehnjährigen Beobachtungen die Tiden eines Ortes vollständig kennen zu lernen.

Den schwächsten Theil der Arbeiten Sir William's bilden entschieden die Tiden von langer Periode, und zwar nach meiner Ansicht deshalb, weil er dabei von unrichtigen Voraussetzungen ausgeht. Er sagt darüber in dem Bericht für 1876: »Da die vierzehntägigen und halbjährigen Tiden höchst wahrscheinlich in der Wirklichkeit sehr nahe dem Equilibriums-Gesetze folgen . . .« und kurz vorher: »Die vierzehntägige Mond- oder die halbjährige Sonnentide ist eine Schwankung der durchschnittlichen Höhe des Wassers für 24 Mond- oder 24 Sonnenstunden, gemäss welcher das Wasser, wenn das betreffende Gestirn sich in der Aequatorebene befindet, rund um den Aequator im Ganzen höher und an den Polen niedriger ist, als wenn das Gestirn entweder südlich oder nördlich declinirt; und gemäss welcher die grösste Höhe des Wassers auf den Polen und die geringste auf dem Aequator stattfindet, wenn die Declination des Gestirnes am grössten ist, entweder südlich oder nördlich.« Wegen der von dem Wassersphäroid der Theorie abweichenden Gestaltung der Erde, sowie aus anderen Gründen, sollen die Folgerungen der Theorie jedoch corrigirt werden, aber nicht in dem Maasse, dass diese Tiden verschwänden, denn es heisst in dem Bericht für 1872: »So ist berechnet worden, dass, wäre die Erde vollkommen starr, die Fluthgrösse der vierzehntägigen Mondtide bei Teneriffa vom niedrigsten zum höchsten, und gleichzeitig bei Island vom höchsten bis zum niedrigsten Stande 4,5 Zoll betragen würde.« Die von Professor Thomson angewandte — vorhin beschriebene — Methode zur Auffindung der Tiden von langer Periode beweist auch, dass er diese Tiden in den Schwankungen des mittleren Wasserstandes suchte, Schwankungen, welche nach den im Texte vertretenen Ansichten einzig und allein den Wirkungen des Windes zuzuschreiben sind. Sir William sagt auch selbst in dem Berichte für 1870: »Das Forschen nach astronomischen Tiden von langer Periode hat bis zu diesem Augenblicke nur negative Resultate ergeben. In jedem Falle scheint eine wirkliche jährliche Tide angezeigt zu sein, aber die negativen Resultate »in Bezug auf die vierzehntägige (Declinations-) und monatliche (elliptische) Mondtide verbieten uns, sowohl die halbjährige wie die ganzjährige als eine wahre astronomische Tide zu betrachten. Beide sind wahrscheinlich meteorolo-

gischen Ursachen zuzuschreiben. Die Ursache, welche ich früher vermuthete, nämlich »Wasser, der See zugeführt durch Quellen und das Schmelzen von Eis oder durch den unmittelbar darauf gefallenen Regen«, würde den mittleren Wasserspiegel beinahe gleichzeitig über die ganze See heben oder senken. Es giebt zwei andere meteorologische Ursachen, die wahrscheinlich sehr merkbare Wirkungen haben, Unterschiede in der Vertheilung des atmosphärischen Druckes über der Erde, und Unterschiede der Temperatur in verschiedenen Oceanen. Diese drei Ursachen mögen genügen um die Resultate der Beobachtung, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt zind, zu erklären. . . « (Diese Tabelle hat hier kein weiteres Interesse.)

Diese Ansichten hat Sir William in den späteren Berichten nicht widerrufen oder berichtigt, aber ebensowenig bessere Resultate seiner Forschungen nach Tiden von langer Periode mitgetheilt. Bei der Berechnung der Tiden von Kurachee liess er, wie schon angeführt wurde, die Tiden von langer Periode ausser Acht, weil die Resultate der verschiedenen Jahre nicht gut mit einander übereinstimmten, und in dem Schlussbericht von 1876, welcher die aus zehn auf einander folgenden Jahren ermittelten Tiden von Helbre-Island enthält, sind für die Tiden von langer Periode überhaupt keine Werthe angegeben; sie werden dort einfach mit Stillschweigen übergangen, woraus wohl fraglos geschlossen werden darf, dass auch dort, trotz der grossen Länge des untersuchten Zeitraumes, Nichts entdeckt wurde, was zur Unterstützung seiner Voraussetzungen in Bezug auf die Tiden langer Periode dienen konnte.

Wenn mir Gelegenheit geboten wäre, einige Jahrgänge der von Herrn Professor Thomson untersuchten Wasserstände in ähnlicher Weise und mit ähnlichen Hülfskräften zergliedern zu können, würde ich mir ein bestimmtes Urtheil über die Leistungsfähigkeit der Methode der harmonischen Analyse gebildet haben; da ich diese Gelegenheit leider nicht gehabt habe, muss ich mich darauf beschränken, meine Ansicht auszusprechen, und diese geht dahin: Die Methode ist jedenfalls von unschätzbarem Werthe, aber erst dann wird sie zur vollen Geltung kommen, wenn die Wirkungen des Windes bei ihrer Anwendung die gebührende Berücksichtigung finden.

8. Die Sonnen- und Mondfluthcurven in Cuxhaven für beide Perioden sind umstehend, auf die betreffenden mittleren

Wasserstände reducirt, angegeben. Da die Wasserstände der ersten der im Texte erwähnten Tabellen gleichmässig über die 44½tägigen Zeiträume vertheilt sind, so muss der Mittelwerth aus den für die einzelnen Tagesstunden in diesen Tabellen gefundenen Mittelwerthen den mittleren Wasserstand der betreffenden Perioden geben:

44½tägige Periode	Mittleres Hochwasser	Mittleres Niedrigwasser	Mittlerer Wasserstand	Mittlere Fluthgrösse	Mittlerer Wasserstand unter Hochwasser
Herbst 1866	4,803 m	2,079 m	3,520 m	2,724 m	0,471 × 2,724
Frühjahr 1876	4,811 m	1,754 m	3,381 m	3,057 m	0,468 × 3,057

welcher vorstehend mit den zugehörigen mittleren Hoch- und Niedrigwassern zusammengestellt ist. Es ergiebt sich daraus, dass der mittlere Wasserstand durchschnittlich siebenundvierzighundertstel der Fluthgrösse unter Hochwasser liegt.

Cuxhaven.

Stunden nach Culmination	Herbst. 1866. Aug. 29. 6h p. m. bis Oct. 13. 6h a. m. Fluthcurven der Sonne		des Mondes		Frühjahr. 1876. März 17. 6h p. m. bis Mai 1. 6h a. m. Fluthcurven. der Sonne		des Mondes	
			0h 5 m Hochwasser					
0	+ 0,184 m		+ 1,219 m		+ 0,246 m		+ 1,333 m	
½	+ 0,269 m		+ 1,195 m		+ 0,343 m		+ 1,273 m	
1	+ 0,328 m		+ 1,092 m		+ 0,417 m		+ 1,142 m	
1½	+ 0,366 m		+ 0,903 m		+ 0,463 m		+ 0,936 m	
2	+ 0,373 m	Hochwasser	+ 0,659 m		+ 0,482 m	Hochwasser	+ 0,673 m	
2½	+ 0,355 m		+ 0,376 m		+ 0,465 m		+ 0,375 m	
3	+ 0,320 m		+ 0,091 m		+ 0,415 m		+ 0,062 m	
3½	+ 0,265 m		— 0,181 m		+ 0,337 m		— 0,246 m	
4	+ 0,196 m		— 0,431 m		+ 0,238 m		— 0,542 m	
4½	+ 0,111 m		— 0,661 m		+ 0,129 m		— 0,813 m	
5	+ 0,020 m		— 0,864 m		+ 0,014 m		— 1,048 m	
5½	— 0,071 m		— 1,041 m		— 0,106 m		— 1,238 m	
6	— 0,152 m		— 1,193 m		— 0,219 m		— 1,378 m	6h 35′ Niedrigwasser — 1,447 m
6½	— 0,236 m		—,1,298 m		— 0,321 m		— 1,443 m	
7	— 0,304 m		— 1,326 m	6h 55′ Niedrigwasser	— 0,401 m		— 1,409 m	
7½	— 0,349 m		— 1,226 m		— 0,459 m		— 1,261 m	
8	— 0,376 m	Niedrigwasser	— 0,993 m		— 0,484 m	Niedrigwasser	— 0,993 m	
8½	— 0,373 m		— 0,641 m		— 0,479 m		— 0,616 m	
9	— 0,349 m		— 0,214 m		— 0,435 m		— 0,175 m	
9½	— 0,291 m		+ 0,190 m		— 0,357 m		+ 0,276 m	
10	— 0,216 m		+ 0,527 m		— 0,255 m		+ 0,649 m	
10½	— 0,126 m		+ 0,780 m		— 0,136 m		+ 0,934 m	
11	— 0,023 m		+ 0,970 m		— 0,007 m		+ 1,138 m	
11½	+ 0,089 m		+ 1,103 m		+ 0,120 m		+ 1,268 m	
12	—		+ 1,191 m		—		+ 1,329 m	12h 10′ Hochwasser + 1,333m
12½	—		+ 1,224 m	Hochwasser	—		+ 1,327 m	
Fluthgrösse:	0,749 m		2,545 m 2,550 m		0,966 m		2,780 m	

Die Entstehung der in Figur 27 dargestellten Fluthcurven will ich hier noch näher nachweisen. Für die einzelnen Tidenpaare aus denen durch Subtraction der Sonnenfluthcurve die Mondfluth-

Anzahl der Tiden	Mondes-			Mondfluthgrösse
	Culminat.-Zeit	Declination	Parallaxe	
2	1h 48′	— 23°	55′	2,40 m
2	1h 1′	— 18°	55′	2,36 m
2	1h 10′	— 10½°	54′	2,20 m
4	0h 57′	— 3°	55½′	2,30 m
2	11h 17′	— 1°	55½′	2,23 m
2	0h 7′	+ 1°	60′	2,45 m
2	1h 1′	+ 6°	60′	2,47 m
2	1h 11′	+ 13°	59′	2,70 m
2	11h 50′	+ 15½°	60′	2,75 m
2	0h 45′	+ 22°	60′	2,57 m
Sa. 22	—	—	—	—
Mittel	0h 43′	$\frac{+ 11{,}3°}{+ 0{,}2°}$	57,4′	(2,42 m)

curven bestimmt wurden, sind vorstehend Culminationszeit, Declination und Parallaxe des Mondes angeführt und es ist aus dieser Zusammenstellung ersichtlich, dass, wie schon im Texte erwähnt

Anzahl der Tiden	Mondes-			Mondfluthgrösse
	Culminat.-Zeit	Declination	Parallaxe	
2	7h 45′	— 26°	55′	3,14 m
2	7h 1′	— 18°	55′	2,81 m
2	8h 0′	— 15½°	56′	3,34 m
2	9h 6′	— 13°	56½′	2,63 m
2	8h 44′	— 9½°	57′	3,40 m
4	11h 2′	— 5°	57′	2,90 m
2	11h 14′	— 3°	59′	2,49 m
4	10h 9′	+ 4½°	57½′	3,19 m
2	8h 5′	+ 13½°	57½′	3,19 m
2	9h 18′	+ 12½°	58′	3,36 m
2	6h 46′	+ 18°	59′	3,22 m
2	8h 0′	+ 21°	59′	3,62 m
2	7h 3′	+ 25°	59′	3,38 m
Sa. 30	—	—	—	—
Mittel	8h 38′	$\frac{+ 14{,}2°}{+ 0{,}3°}$	57,3′	(3,04 m)

wurde, weder Declination noch Parallaxe des Mondes von entscheidendem Einflusse auf die Mondfluthgrösse sein kann. Die Mittelwerthe aus diesen zehn, bez. dreizehn Mondfluthcurven sind die in Figur 27 verzeichneten Mondfluthcurven (deren Fluthgrösse etwas kleiner als der Durchschnitt der Fluthgrösse der einzelnen Mondfluthcurven ist, weil die Hoch- und Niedrigwasser nicht überall auf denselben Zeitpunkt treffen), welche nebst den von ihnen abgezogenen Sonnenfluthcurven und der Summe Beider nachstehend aufgeführt sind. Die Hoch- und Niedrigwasser sind in allen Fluthcurven unterstrichen.

Mondesculminationszeit 0h 43'				Mondesculminationszeit 8h 38'			
Stunden nach der Mondesculminat.	Mondfluthcurve	Sonnenfluthcurve	Summe	Stunden nach der Mondesculminat.	Mondfluthcurve	Sonnenfluthcurve	Summe
0h	+ 1,09 m	+ 0,32 m	+ 1,41 m	0h	+ 1,48 m	— 0,33 m	+ 1,15 m
½h	+ 1,11 m	+ 0,37 m	+ 1,48 m	½h	+ 1,39 m	— 0,30 m	+ 1,09 m
1h	+ 1,05 m	+ 0,40 m	+ 1,45 m	1h	+ 1,22 m	— 0,24 m	+ 0,98 m
1½h	+ 0,91 m	+ 0,40 m	+ 1,31 m	1½h	+ 0,98 m	— 0,17 m	+ 0,81 m
2h	+ 0,70 m	+ 0,37 m	+ 1,07 m	2h	+ 0,68 m	— 0,09 m	+ 0,59 m
2½h	+ 0,45 m	+ 0,31 m	+ 0,76 m	2½h	+ 0,33 m	± 0,00 m	+ 0,33 m
3h	+ 0,17 m	+ 0,24 m	+ 0,41 m	3h	— 0,02 m	+ 0,09 m	+ 0,07 m
3½h	— 0,08 m	+ 0,15 m	+ 0,07 m	3½h	— 0,37 m	+ 0,17 m	— 0,20 m
4h	— 0,32 m	+ 0,06 m	— 0,26 m	4h	— 0,71 m	+ 0,25 m	— 0,46 m
4½h	— 0,52 m	— 0,04 m	— 0,56 m	4½h	— 1,00 m	+ 0,30 m	— 0,70 m
5h	— 0,69 m	— 0,14 m	— 0,83 m	5h	— 1,23 m	+ 0,33 m	— 0,90 m
5½h	— 0,83 m	— 0,23 m	— 1,06 m	5½h	— 1,41 m	+ 0,34 m	— 1,07 m
6h	— 0,98 m	— 0,30 m	— 1,28 m	6h	— 1,52 m	+ 0,33 m	— 1,19 m
6½h	— 1,13 m	— 0,36 m	— 1,49 m	6½h	— 1,54 m	+ 0,29 m	— 1,25 m
7h	— 1,26 m	— 0,39 m	— 1,65 m	7h	— 1,46 m	+ 0 24 m	— 1,22 m
7½h	— 1,31 m	— 0,40 m	— 1,71 m	7½h	— 1,28 m	+ 0,17 m	— 1,11 m
8h	— 1,24 m	— 0,38 m	— 1,62 m	8h	— 1,01 m	+ 0,08 m	— 0,93 m
8½h	— 0,92 m	— 0,33 m	— 1,25 m	8½h	— 0,62 m	± 0,00 m	— 0,62 m
9h	— 0,41 m	— 0,26 m	— 0,67 m	9h	— 0,16 m	— 0,09 m	— 0,25 m
9½h	+ 0,09 m	— 0,17 m	— 0,08 m	9½h	+ 0,31 m	— 0,14 m	+ 0,17 m
10h	+ 0,47 m	— 0,06 m	+ 0,41 m	10h	+ 0,72 m	— 0,24 m	+ 0,48 m
10½h	+ 0,72 m	+ 0,05 m	+ 0,77 m	10½h	+ 1,05 m	— 0,29 m	+ 0,76 m
11h	+ 0,89 m	+ 0,16 m	+ 1,05 m	11h	+ 1,29 m	— 0,33 m	+ 0,96 m
11½h	+ 0,98 m	+ 0,25 m	+ 1,23 m	11½h	+ 1,43 m	— 0,34 m	+ 1,09 m
12h	+ 1,04 m	+ 0,32 m	+ 1,36 m	12h	+ 1,50 m	— 0,33 m	+ 1,17 m
12½h	+ 1,08 m	+ 0,37 m	+ 1,45 m	12½h	+ 1,49 m	— 0,30 m	+ 1,19 m
Fluthgrösse	2,42 m	0,80 m	3,19 m	Fluthgrösse	3,04 m	0,67 m	2,44 m

9. Die Wasserstände des Adriatischen Meeres, mittelst registrirender Fluthmesser beobachtet, sind für die im Texte genannten Orte für das Jahr 1869 in folgender Form veröffentlicht. Für jeden der fünf Orte ist eine Anzahl von Reihen stündlicher Wasserstände, die nach der Zeit der Mondesculmination getrennt sind, mitgetheilt. Z. B. eine Reihe enthält die Mittelwerthe der Wasserstände, welche von Stunde zu Stunde an den Tagen, an denen die obere Culmination des Mondes um Mittag stattfand, beobachtet sind; also die Mittelwerthe für 0, 1, 2 u. s. w. bis 13 Uhr oder bis eine Stunde nach Mitternacht. Eine zweite Reihe giebt dieselben Werthe für die Tage, an denen die untere Culmination des Mondes um Mittag stattfand. Eine dritte Reihe diejenigen für die Tage, an denen die obere Culmination des Mondes um Mitternacht stattfand, und eine vierte diejenigen für die Tage, an denen die untere Culmination des Mondes um Mitternacht stattfand, wobei die beiden letzteren Reihen mit Mitternacht anfangen und die Wasserstände bis eine Stunde nach Mittag enthalten. Aus diesen vier Reihen, welche also sämmtlich mit 0 oder 12 Uhr beginnen, sind wieder die Mittelwerthe berechnet und mitgetheilt, so dass für die Tage der Syzygien fünf Reihen von stündlichen Wasserstandsbeobachtungen gegeben sind. Ganz in derselben Weise sind die Wasserstände für die vollen Stunden ein bis elf Uhr der Mondesculmination veröffentlicht, so dass sich daraus die mittleren Wasserstände für jede Tagesstunde, für jede Stunde nach oberer und unterer Mondesculmination und die Fluthcurven für jedes Mondesalter entnehmen liessen. — Leider sind nicht an allen Orten alle Tage des Jahres benutzt, für Lesina nur 538 Tiden, für Corfu nur 550 Tiden, wodurch die für diese Orte gewonnenen Resultate an Brauchbarkeit einbüssen.

Die Resultate für Triest, welche in Figur 28 verzeichnet sind, folgen nachstehend in Zahlen, wobei zu bemerken ist, dass sie sich in Wiener Fuss auf den mittleren Wasserstand des Jahres beziehen. Die zweite und dritte Spalte der Tabelle enthalten die Sonnen- und Mondfluthcurve, welche aus den Beobachtungen des ganzen Jahres — genauer aus 686 Tiden — erhalten sind. Durch Summirung dieser beiden Spalten ist die vierte Spalte gefunden, welche also die durch Construction oder Rechnung bestimmte Fluthcurve der Springtiden enthält. Die fünfte Spalte giebt die beobachtete Springfluthcurve, den Mittelwerth der Fluthcurven, welche an den-

jenigen Tagen des Jahres beobachtet sind, an denen Sonne und Mond gleichzeitig culminirten und die sechste Spalte enthält die Differenz zwischen der construirten und der beobachteten Springfluthcurve. Die drei letzten Spalten enthalten dieselben Werthe für die Taubentiden, wie die vorhergehenden für die Springtiden. Die zwischenliegenden Fluthcurven sind nicht mit aufgeführt, weil sie ganz ähnliche Resultate wie die beiden erwähnten geben, nämlich Differenzen zwischen Construction und Beobachtung, die höchstens 84 Tausendstel Fuss, meistentheils aber sehr viel weniger betragen und die bis auf wenige Tausendstel Fuss stets positiv ebensogross sind wie negativ.

Stunden nach Culmination	Getrennt: Fluthcurve		Fluthcurven					
			Mondesculmination 12 Uhr			6 Uhr		
	der Sonne	des Mondes	Construirt	Beobachtet	Differenz	Construirt	Beobachtet	Differenz
0	+ 0,086′	+ 0,074′	+ 0,160′	+ 0,156′	— 0,004′	0	+ 0,048′	+ 0,048′
1	— 0,177′	— 0,347′	— 0,524′	— 0,514′	+ 0,010′	— 0,167′	— 0,142′	+ 0,025′
2	— 0,419′	— 0,676′	— 1,095′	— 1,095′	0	— 0,287′	— 0,261′	+ 0,026′
3	— 0,490′	— 0,860′	— 1,350′	— 1,346′	+ 0,004′	— 0,354′	— 0,329′	+ 0,025′
4	— 0,467′	— 0,813′	— 1,280′	— 1,310′	— 0,030′	— 0,344′	— 0,329′	+ 0,015′
5	— 0,323′	— 0,530′	— 0,853′	— 0,875′	— 0,022′	— 0,213′	— 0,223′	— 0,010′
6	— 0,074′	— 0,124′	— 0,198′	— 0,165′	+ 0,033′	— 0,038′	— 0,058′	— 0,020′
7	+ 0,180′	+ 0,304′	+ 0,484′	+ 0,496′	+ 0,012′	+ 0,127′	+ 0,113′	— 0,014′
8	+ 0,389′	+ 0,637′	+ 1,026′	+ 1,029′	+ 0,003′	+ 0,218′	+ 0,260′	+ 0,042′
9	+ 0,506′	+ 0,855′	+ 1,361′	+ 1,322′	— 0,039′	+ 0,365′	+ 0,337′	— 0,028′
10	+ 0,469′	+ 0,853′	+ 1,322′	+ 1,321′	— 0,001′	+ 0,386′	+ 0,368′	— 0,018′
11	+ 0,317′	+ 0,632′	+ 0,949′	+ 0,985′	+ 0,036′	+ 0,309′	+ 0,258′	— 0,051′
12	+ 0,086′	+ 0,257′	+ 0,343′	+ 0,338′	— 0,005′	+ 0,183′	+ 0,149′	— 0,034′

10. Die Fluthcurven von Milwaukee sind nicht aus sämmtlichen, während der fünf Jahre 1867 bis 1871 beobachteten Wasserständen abgeleitet, sondern wegen der vielfachen Unterbrechungen durch Eis und sonstige Zufälle sind zur Bestimmung der Sonnentide aus jedem Jahre eine Anzahl voller synodischer Monate ausgesucht, zur Bestimmung der Mondtide sind sogar nur fünf synodische Monate des Jahres 1867 benutzt.

Stunden nach unterer Culmination	Fluthcurven der Sonne	des Mondes	der Springtide	der Taubentide	Stunden nach oberer Culmination	Fluthcurven der Sonne	des Mondes	der Springtide	der Taubentide
0	+ 0,006′	+ 0,044′	+ 0,037′	— 0,024′	0	+ 0,020′	+ 0,028′	+ 0,044′	— 0,006′
1	+ 0,013′	+ 0,032′	+ 0,039′	— 0,014′	1	+ 0,024′	+ 0,042′	+ 0,052′	— 0,011′
2	+ 0,006′	+ 0,026′	+ 0,036′	— 0,014′	2	+ 0,020′	+ 0,032′	+ 0,032′	— 0,005′
3	+ 0,001′	— 0,001′	+ 0,005′	— 0,011′	3	+ 0,012′	+ 0,013′	+ 0,017′	+ 0,003′
4	— 0,003′	— 0,012′	— 0,008′	— 0,004′	4	+ 0,007′	— 0,001′	— 0,016′	± 0,000′
5	— 0,017′	— 0,032′	— 0,034′	— 0,003′	5	— 0,003′	— 0,014′	— 0,023′	+ 0,019′
6	— 0,020′	— 0,038′	— 0,044′	+ 0,002′	6	— 0,013′	— 0,029′	— 0,046′	+ 0,018′
7	— 0,022′	— 0,028′	— 0,041′	+ 0,006′	7	— 0,003′	— 0,041′	— 0,038′	+ 0,027′
8	— 0,011′	— 0,028′	— 0,035′	+ 0,003′	8	— 0,012′	— 0,017′	— 0,035′	+ 0,022′
9	— 0,010′	— 0,014′	— 0,017′	— 0,004′	9	+ 0,001′	— 0,013′	— 0,005′	+ 0,012′
10	— 0,001′	— 0,001′	+ 0,005′	— 0,002′	10	— 0,001′	+ 0,008′	+ 0,002′	+ 0,006′
11	+ 0,008′	+ 0,023′	+ 0,028′	— 0,006′	11	+ 0,008′	+ 0,016′	+ 0,029′	— 0,006′

Die in Figur 30 aufgezeichneten Fluthcurven — mit Ausnahme der construirten, in punktirter Linie angegebenen Springfluthcurve — sind vorstehend in Zahlen wiedergegeben. Für die Fluthcurven der Sonne, der Spring- und der Taubentiden sind Stunden, von denen vierundzwanzig auf einen Tag gehen, zu verstehen; für die Fluthcurven des Mondes Mondstunden, von denen vierundzwanzig auf einen Mondtag oder zwölf auf eine Tide gehen. Sämmtliche Zahlen beziehen sich in englischen Fussen auf denselben mittleren Wasserstand.

11. Die Fluthcurven von Tahiti sind für die funfzehn Tage vom 11. bis 25. April zerlegt und dadurch Sonnen- und Mondfluthcurve — bezogen auf den Nullpunkt der Zeichnung — gefunden wie folgt:

Indem ich diese Curven sorgfältig aufzeichnete, fand ich daraus die im Texte angegebenen Höhen und Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser. Bezieht man diese Curven auf den mittleren Wasserstand, so kann man in der schon früher beschriebenen Weise die Fluthcurven für beliebige Culminationszeiten des Mondes wieder construiren. Der mittlere Wasserstand der funfzehntägigen Periode ist 7,50 Zoll.

Stunden nach Culmination	Fluthcurve der Sonne	Fluthcurve des Mondes
0h	11,01 Zoll	10,69 Zoll
1h	11,12 „	10,95 „
2h	9,87 „	10,12 „
3h	8,26 „	8,73 „
4h	6,31 „	7,29 „
5h	4,82 „	5,87 „
6h	4,06 „	4,91 „
7h	4,01 „	4,04 „
8h	5,11 „	4,27 „
9h	6,81 „	5,63 „
10h	8,57 „	7,48 „
11h	10,00 „	9,20 „
12h	—	10,50 „
13h	—	11,03 „

12. Die Tiden von Hull sind nach den viertelstündlichen Beobachtungen der achtundzwanzig Tage von Mai 9 bis Juni 6 1864 zerlegt. Aus diesem Zeitraume sind auch die Hafenzeit, die Spring- und Taubefluthgrösse abgeleitet, stimmen übrigens mit den in den englischen Tidetafeln enthaltenen Angaben ziemlich genau überein. Der mittlere Wasserstand der vier Wochen war 15′ 6,8″ und auf diesen sind die aus ihnen gewonnenen, umstehend angegebenen, mittleren Sonnen- und Mondfluthcurven bezogen. Diese Curven sind, ebenso wie die unmittelbar aus den Beobachtungen hervorgehenden Fluthcurven, ausserordentlich regelmässig. Die Mondfluthcurven für die verschiedenen Culminationszeiten des Mondes habe ich auf folgende Weise abgeleitet. Ich nahm aus den Fluthcurven zweier aufeinander folgenden Tiden die Mittelwerthe, und ebenfalls die Mittelwerthe eines anderen Paares, welches zu derselben Mondesculminationszeit gehörte und etwa vierzehn Tage später beobachtet worden war. Aus diesen Beiden nahm ich abermals die Mittelwerthe und erhielt dadurch die zu einer bestimmten Culminationszeit des Mondes gehörige Fluthcurve, welche weder durch die tägliche Ungleichheit noch durch die Entfernung des Mondes, sondern nur noch durch die Mondesdeclination beeinflusst sein konnte. Da aber bei dem einen Paar die Decli-

Stunden nach Culmination	Hull. Mai 9 bis Juni 6 1864. Fluthcurven der Sonne		des Mondes	
0	—1′ 2,6″		—7′10,2″	Niedrigwasser 0h 5′ — 7′10,3″
½	— 1′ 5,0″		— 7′ 7,5″	
1	— 1′ 6,5″	Niedrigwasser 1h 12′ — 1′ 6,7″	—6′10,5″	
1½	— 1′ 6,4″		— 5′ 5,6″	
2	— 1′ 5,2″		— 3′ 8,1″	
2½	— 1′ 2,5″		— 1′ 9,2″	Fluthgrösse 15′ 6,1″
3	—0′11,4″	Fluthgrösse 3′ 1,4″	+ 0′ 3,0″	
3½	— 0′ 7,0″		+ 2′ 2,7″	
4	— 0′ 2,2″		+ 4′ 0,7″	
4½	+ 0′ 3,1″		+ 5′ 7,1″	
5	+ 0′ 7,8″		+ 6′ 8,4″	Hochwasser 5h 55′ + 7′ 7,8″
5½	+ 1′ 0,6″		+ 7′ 5,4″	
6	+ 1′ 3,6″		+ 7′ 7,8″	
6½	+ 1′ 5,9″		+ 7′ 3,9″	
7	+ 1′ 6,6″	Hochwasser 7h 12′ + 1′ 6,7″	+ 6′ 6,8″	
7½	+ 1′ 6,3″		+ 5′ 4,8″	
8	+ 1′ 4,5″		+3′11,3″	
8½	+ 1′ 2,2″		+ 2′ 3,9″	
9	+0′10,6″		+ 0′ 7,5″	
9½	+ 0′ 6,8″		— 1′ 1,0″	
10	+ 0′ 1,8″		— 2′ 8,4″	
10½	— 0′ 2,8″		— 4′ 2,2″	
11	— 0′ 7,6″		— 5′ 6,0″	
11½	—0′11,7″		— 6′ 7,7″	
12	—		— 7′ 6,0″	
12½	—		—7′10,3″	Niedrigwasser

nation gerade soviel nördlich, wie bei dem andern südlich war, so ist auch dieser Einfluss aus dem Mittel der beiden Paare höchst wahrscheinlich eliminirt. Von diesen, aus derartigen Doppelpaaren erhaltenen Fluthcurven zog ich die mittlere Sonnenfluthcurve ab,

und behielt dann Mondfluthcurven übrig, deren Verschiedenheiten aller Wahrscheinlichkeit nach nur durch das verschiedene Mondesalter bedingt sein konnten. Die Verschiedenheiten erstreckten sich auf die Form, die Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser und auf die Fluthgrössen; die letzteren werde ich anführen. Es ergab sich: für die Mondesculmination: die Fluthgrösse:

um 12 Uhr	16′ 3½″
» 1 Uhr	16′ 9½″
» 3 Uhr	16′ 11″
» 6 Uhr	15′ 9″
» 7 Uhr	15′ 11″
» 9 Uhr	16′ 1″

Die im Texte für die Zeit der Spring- und Taubenfluthen angegebenen Mondfluthgrössen habe ich hiernach interpolirt, wobei ich wegen des nicht ganz regelmässigen Fortschreitens auf einige Zolle keine Rücksicht genommen habe. Wahrscheinlich ist nämlich der untersuchte Zeitraum überhaupt zu kurz, um genaue Resultate geben zu können.

13. Die Schwankungen des mittleren Wasserstandes will ich umstehend für eine Anzahl von Tagen, und bezogen auf den mittleren Wasserstand des Jahres, für zwei von einander sehr weit entfernte Orte: Cuxhaven und Kurrachee, anführen. In Cux-

Mittlere Wasserstände: Cuxhaven.				Kurrachee	
1876 Datum	Abweichung vom Jahresmittel(3,44 m)	Wind- Richtungen	Wind- Schnelligkeit	1868 Datum	Abweichung vom Jahresmittel
März 18	+ 0,58 m	W—N	6—9 m	Nov. 1	+ 0,03 m
„ 19	+ 0,25 m	NW—N	6—10 m	„ 2	+ 0,05 m
„ 20	+ 0,10 m	WNW—N	2—7 m	„ 3	+ 0,03 m
„ 21	— 0,09 m	NW—OSO	1—4 m	„ 4	+ 0,08 m
„ 22	— 0,06 m	NNW—NNO	3—10 m	„ 5	+ 0,10 m
„ 23	+ 0,15 m	WSW—NW	4—8 m	„ 6	+ 0,11 m
„ 24	— 0,05 m	WNW—OSO	1—5 m	„ 7	+ 0,08 m
„ 25	— 0,35 m	ONO—OSO	3—11 m	„ 8	+ 0,07 m
„ 26	— 0,44 m	ONO—O	4—8 m	„ 9	+ 0,07 m
„ 27	— 0,30 m	ONO—SO	2—4 m	„ 10	+ 0,12 m

Fortsetzung: Cuxhaven				Kurrachee	
März 28	— 0,46 m	SO—SSO	2—6 m	Nov. 11	+ 0,10 m
„ 29	+ 0,05 m	SO—SSW	1—6 m	„ 12	+ 0,04 m
„ 30	+ 0,08 m	SO—W	0—6 m	„ 13	— 0,03 m
„ 31	— 0,07 m	OSO—SSO	0—4 m	„ 14	— 0,08 m
April 1	— 0,09 m	O—SO	0—4 m	„ 15	— 0,05 m
„ 2	+ 0,08 m	OSO—NO	0—4 m	„ 16	— 0,06 m
„ 3	— 0,04 m	NW—SO	0—4 m	„ 17	— 0,03 m
„ 4	— 0,05 m	O—N	0—3 m	„ 18	— 0,01 m
„ 5	— 0,10 m	S—WNW	1—6 m	„ 19	+ 0,03 m
„ 6	— 0,06 m	W—NNW	2—7 m	„ 20	+ 0,06 m
„ 7	— 0,14 m	NW—NNW	2—8 m	„ 21	+ 0,04 m
„ 8	— 0,20 m	NNO—WNW	0—3 m	„ 22	+ 0,05 m
„ 9	+ 0,15 m	SSO—W	2—11 m	„ 23	+ 0,06 m
„ 10	+ 0,23 m	SSO—WSW	1—11 m	„ 24	+ 0,05 m
„ 11	+ 0,83 m	SSW—WNW	4—13 m	„ 25	+ 0‘01 m
„ 12	+ 0,30 m	S—NW	2—12 m	„ 26	+ 0,04 m
„ 13	+ 0,09 m	SSW—SO	0—6 m	„ 27	+ 0,05 m
„ 14	— 0,21 m	N—SSO	0—4 m	„ 28	+ 0,08 m
„ 15	— 0,44 m	N—O	3—8 m	„ 29	+ 0,12 m
„ 16	— 0,58 m	ONO—O	6—9 m		
„ 17	— 0,42 m	ONO—SO	0—7 m		
„ 18	— 0,03 m	O—WNW	0—5 m		
„ 19	— 0,08 m	SO—SSO	1—5 m		
„ 20	+ 0,01 m	SSO—SW	0—7 m		
„ 21	+ 0,01 m	SO—W	0—5 m		
„ 22	± 0	SSO—O	0—2 m		
„ 23	— 0,04 m	NW—NNO	2—5 m		
„ 24	— 0,29 m	NO—OSO	2—5 m		
„ 25	— 0,37 m	O—WNW	0—5 m		
„ 26	— 0,06 m	SSW—NW	1—7 m		
„ 27	— 0,06 m	WSW—NNW	0—6 m		
„ 28	— 0,49 m	NO—SO	1—8 m		
„ 29	— 0,10 m	SSO—W	1—4 m		
„ 30	+ 0,05 m	SSO—NNO	0—5 m		

haven ist während des angegebenen Zeitraumes der Wind von Stunde zu Stunde, also täglich vierundzwanzigmal, beobachtet worden. Da aber diese Beobachtungen täglich im Durchschnitt etwa zwölf verschiedene Windrichtungen und Stärken ergaben, so habe ich mich darauf beschränkt, die gefundenen Grenzwerthe anzugeben, wobei man auf dem Compass von Süden, nach Westen, Norden und Osten fortschreiten muss. Also z. B. April 13 »S.-S.-W. —S.-O., 0—6 m« bedeutet, dass der Wind an diesem Tage nur aus S.-S.-O. und S. nicht geweht und dass seine Schnelligkeit zwischen 0 und 6 m in der Sekunde betragen hat. Wegen der Beziehungen zwischen den Winden und Wasserständen verweise ich auf den III. Abschnitt und bemerke nur noch, dass die Reduction auf den mittleren Wasserstand des Jahres völlig nichtssagend ist, und richtiger — wenn sich dies ohne Willkür hätte ausführen lassen — auf denjenigen Wasserstand vorzunehmen wäre, der sich bei anhaltender Windstille einstellen würde. — Die Abweichungen für Kurrachee habe ich des Vergleiches wegen auch in Metern angegeben und füge hinzu, dass die mittleren Wasserstände der Jahre 1869—70 und 1870—71 nur um + 0,043 m, bez. + 0,035 m von dem des Jahres 1868—69 abweichen. Windbeobachtungen von Kurrachee sind nicht mitgetheilt.

Die Abweichungen vom mittleren Wasserstande betrugen in Cuxhaven während dieser — keineswegs besonders windreichen — Zeit durchschnittlich 0,19 m, in Kurrachee dagegen nur 0,06 m. Der bedeutende Unterschied erklärt sich höchst wahrscheinlich theilweise durch das Klima, theilweise durch die Lage, die in dieser Beziehung vermuthlich selten so ungünstig ist wie die von Cuxhaven. Von Interesse ist in dieser Hinsicht eine Notiz in den englischen Tidetafeln über die Tiden von Buenos-Ayres. Diese Stadt liegt auf 35° S. Br. an der Mündung des Rio de la Plata, die die Form einer weitgeöffneten und nach Südosten gerichteten Bucht hat. Die Springfluthgrösse für Buenos-Ayres wird zu drei bis fünf Fuss angegeben, dabei aber bemerkt: »Im Rio de la Plata wird das Steigen des Wassers in hohem Grade durch den Wind beeinflusst, indem das Wasser durch südöstliche Winde gehoben und durch nordwestliche Winde gesenkt wird, wodurch in Buenos-Ayres zuweilen Unterschiede von zwölf Fuss verursacht werden.« Die ähnliche Lage der Mündung des Rio de la Plata hat also auch ganz ähnliche Wirkungen zur Folge wie in der Mündung der Elbe; nur bei gerade entgegengesetzten Windrichtungen.

Angabe der benutzten Quellen.

Airy, G. B. Kgl. Astronom, behandelt die Fluthcurven von Southampton und Ipswich in den Philosophical Transactions of the Royal Society. 1843. Die Tiden von Courtown untersucht er ebenda 1845.

Adria-Commission, 3. Bericht der k. k., Wien 1873, verfasst von Dr. J. H. Lorenz, Professor A. Prey und Professor E. Stahlberger, theilt die von mir benutzten Wasserstandsbeobachtungen aus dem Adriatischen Meere mit. Derselbe Bericht enthält eine Arbeit von Professor Stahlberger: »Ueber die Gezeiten Fiumes«, in der 37 Neumond-Springfluthcurven von Fiume in Zahlen gegeben sind, aus denen ich das ableitete, was ich über die täglichen Ungleichheiten von Fiume angeführt habe.

Baensch, O. Geheimer Oberbaurath. »Studien aus dem Gebiete der Ostsee«. Berlin 1872, enthält die von mir benutzten Wind- und Strombeobachtungen von Rügenwaldermünde.

Ders. »Die Sturmfluth an den Ostseeküsten des preussischen Staates vom 12./13. Nov. 1872«. Berlin 1875. Diesem Aufsatze entnahm ich die diese Sturmfluth betreffenden Thatsachen, soweit sie die preussischen Küsten betreffen.

Beechey, F. W. Capitain der engl. Marine. »Tiden und Tideerscheinungen in der Irischen See, im Englischen Canale und in der Nordsee«, in den Philos. Transactions von 1848 und 1851, enthält das, was ich über dortige Strömungen etc. beibrachte.

Belcher, Sir E., Capitain der engl. Marine, liess die Wasserstandsbeobachtungen im Tahiti-Archipel anstellen. Philos. Transact. 1843.

Comstock, C. B., Major of Engineers and Brevet Brigadier General in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Verfasser der von mir benutzten Abhandlung über die Tiden von Milwaukee. In dem »Report of the Chief of Engineers« für 1872 oder später.

Dalmann, J., Wasserbau-Director. »Ueber Wasserstands- und meteorologische Beobachtungen« in der Zeitschrift des Architecten und Ingenieur-Vereins für das Königreich Hannover 1856, enthält die von mir reproducirten Fluthcurven vom Helder, Februar 1854.

Derselbe. »Ueber Stromcorrectionen im Fluthgebiete«, enthält einige der von mir gegebenen Daten über die Tiden im Severn.

Ferrel, William. Assistant U. S. Coast Survey «Tidal Researches« in dem U. S. Coast Survey Report, 1874, enthält die Angaben über die Fluthgrössen von Chicago.

Geinitz, E., Dr., in Petermann's geogr. Mitthlgn. 1877. XII., berechnet die Geschwindigkeit der, durch das Erdbeben von Iquique am 9. Mai 1877 erzeugten Wellen auf 150 bis 402 Meilen pr. Stunde.

Hagen, Wasserbaukunst III. Theil, enthält die von mir benutzten Angaben über die Tiden und Wasserstände im deutschen Theile der Ostsee.

Halley, Edmund, veröffentlicht in den Philos. Transactions 1684 die Beschreibung des Capitain Davenport der Tiden von Tungking.

Howard, Thomas, in den Report of the British Association for the advancement of science, 1875, giebt die Fluthcurven von Kingsroad und die von mir benutzten Daten über die Tiden im Bristol-Canale und im Severn.

Hilgard, J. E., Professor, of the U. S. Coast Survey; »On Tides and tidal action in harbors«. Washington 1875, enthält die von mir wiedergegebenen Angaben über die Fluthgrössen an der nordamerikanischen Küste, über die Tiden im Mexicanischen Meerbusen und über das Erdbeben im December 1854.

Hochstetter, Ferd. v., Dr., in Petermann's geograph. Mitthlgn. 1869. VI., berechnet die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen vom 13. August 1868 im grossen Ocean zu 284 bis 442 Meilen in der Stunde.

Hübbe, Heinr., Wasserbau-Director. »Einige Wasserstandsbeobachtungen im Fluthgebiete des Elbstromes«. Hamburg 1842, beschreibt zuerst die, von mir am Schlusse des IV. Abschnittes angedeutete Methode zur Berechung der Durchflussmengen aus den Beobachtungen des Wasserstandes und der Grösse der inundirten Flächen.

Kaiserl. Telegraphen-Station Cuxhaven, die, hatte die Freundlichkeit, mir die im III. Abschnitte benutzten Windbeobachtungen von Helgoland leihweise zu überlassen.

Klein, Herm., Professor. »Sonnensystem 1871«, habe ich die Angaben über die Masse und die Entfernung der Sonne und des Mondes etc. entnommen.

Koldewey, Carl, Capitain, »Zweite Deutsche Nordpolfahrt 1869—70« enthält die Daten über die Tiden von Sabine-Insel.

Kruyff, W. Ph. de, Opzigter van den Waterstaat, liess gütigst die Fluthcurven vom Helder, December 1854 bis Jan. 1855 für mich anfertigen.

Laplace, »Exposition du systême du monde« steht das von mir in der Einleitung citirte: Livre IV. Chap X.

Derselbe. »Traité de Mécanique céleste«. Tome II Livre IV. Nr. 28 ist die Stelle, an der der, von mir in der Einleitung erwähnte Beweis sich finden sollte.

Lubbock, John William. Die zahlreichen von mir benutzten Arbeiten dieses Autors sind; »An elementary Treatise of the Tides«, London 1839, und eine Reihe von Aufsätzen in den Philos. Transact. der Jahre 1831—1837.

Newton, Sir Isaac, Philosophiae naturalis principia mathematica. London 1687. Ich habe nur die Uebersetzung von Professor Wolfers, Dr., Berlin 1872, benutzen können.

Oldham, James. Civil-Ingenieur, als Vorsitzender eines Comites der Britifh Assoc. of the Advanc. of Science theilt in dem Berichte dieser Gesellschaft für 1864 die von mir benutzten Wasferftände von Hull mit.

Patterson, C. P., Superintendent of the U. S. Coast Survey, übersandte mir auf meine Bitte in der entgegenkommendsten Weise die, an ihrer Stelle erwähnten, zu seinem Ressort gehörigen Drucksachen und vermittelte ferner die Zusendung der schon genannten Arbeit über die Tiden von Milwaukee.

Paugger, Dr., Director der k. k. Akademie für Handel und Nautik in Triest, hatte die Güte, mir auf meine Bitte die Fluthcurven von Triest zuzustellen, welche ich in Figur 29 verkleinert habe.

Reimers, J. H., Wasserbau-Ingenieur in Dänemark. Ihm verdanke ich die Fluthgrössen und Hafenzeiten der Tiden im dänischen Theile der Ostsee.

Schmick, H., Dr. Professor. »Das Fluthphänomen«, Leipzig 1874. Diesem Buche habe ich die Angaben über die Tiden von Sydney entnommen.

Shoolbred, James N., Ingenieur, giebt die Jahresmittel 1854 bis 1873 der Hoch- und Niedrigwasser in Liverpool, im Report of the Br. Assoc. for the Adv. of Science for 1875.

Sterr, C. van der, giebt eine Beschreibung der meteorologischen Station am Helder in der Tijdschrift van het Koniklijk Instituut van Ingenieurs 1852—53, der ich die dortigen Fluthcurven vom Auguſt 1852 entnommen habe. Dieselbe Zeitschrift enthält fortlaufende Mittheilungen über die Beobachtungen der Wasserstände, des Winddruckes etc. am Helder.

Stessels, A., Lieutenant de Vaiſseau »Discussion des observations de la marée et de ses effets dans l'Escaut«. Brüssel 1872, enthält die von mir benutzte Angabe über die Höhe der Sturmfluth vom Februar 1825 in Antwerpen.

Thomson, Sir William, Professor, in den Reports of the Br. Assoc. for the adv. of science, 1868, 70, 71, 72, 76. Diesen Berichten sind auch die Liverpooler Fluthcurven entnommen.

Tide Tables for the British and Irish Ports for the year 1869, computed by Staff, Commander J. Burwood. R. N.

Dieselben für 1878, computed by Staff Commander H. R. Harris. R. N.

Tide Tables for the Pacific Coast of the United States. 1877.

do. » » Atlantic » » » » » 1877

veröffentlicht Washington, U. S. Coast Survey Office.

Whewell, William, Professor. Seine sämmtlichen von mir benutzten Arbeiten sind enthalten in den Philosophical Transactions 1833 bis 1840, 1848 und 1850.

Woltman, R., Wasserbau-Director zu Hamburg. »Einige Bemerkungen über die hohe Sturmfluth in der Nacht vom 3. auf den 4. Februar 1825, und über die dadurch verursachten Deichbrüche und Ueberschwemmungen« in »Hannoversches Magazin« vom 2. und 5. November 1825, enthält Angaben über Sturmfluthhöhen in Hamburg und Cuxhaven, von welch' letzteren ich einige benutzte.

Petermann's geogr. Mitthlgn. 1875, VI. enthält »nach den Messungen der Kgl. Preuss. Landesaufnahme« die von mir wiedergegebenen mittleren Wasserstände und Höhenlage der Pegelnullpunkte für eine Anzahl von Ostsee-Häfen.

INHALT.

Seite

Einleitung 5

I. Abschnitt. Theoretische Fluth und Ebbe.

Entstehung der Fluthwellen (Fig. 1) 12
Form der Fluthwellen (Fig. 2) 16
Spring- und Taubetiden (Fig. 3) 19
Halbmonatliche Ungleichheit (Fig. 4 u. 5) 20
Höhe und Eintrittszeit aufeinander folgender Tiden (Fig. 6 u. 7) 21
Wirkung der Aenderungen in der Entfernuug von Sonne und Mond 23
Wirkung der Declination von Sonne und Mond (Fig. 8—10) 24
Fluthcurven der Aequinoctial- und Solstitialtiden (Fig. 11 u. 12) 28

II. Abschnitt. Fluth und Ebbe in der Natur.

A. Tiden im Atlantischen Ocean.
§ 1. Die Fluthwelle 32
Fluthwelle im Bristol-Canal 39
Interferenz der Wellen 41
Whewell's cotidal-lines (Fig. 13) 42
Ungewöhnliche Flutherscheinungen 44
Mittlerer Wasserstand der Fluthwelle 45
§ 2. Die Fluthgrösse (Fig. 14) 45
§ 3. Die Fluthcurve 47
Fluthcurven von Helgoland und Cuxhaven (Fig. 15) 48
Fluthcurven von Liverpool, Ipswich u. s. w. (Fig. 16 u. 17) 51
§ 4. Die halbmonatliche Ungleichheit 53
Halbmonatliche Ungleichheit in Cuxhaven (Fig. 18 u. 19) 54
do. do. an anderen Orten 57
Fluth- und Ebbedauer (Fig. 20) 59
§ 5. Einfluss der Mondentfernung 60
Aequinoctial-Springtiden 63
§ 6. Einfluss der Mondesdeclination 64
Tägliche Ungleichheit (Fig. 21) 67
do. do. in Cuxhaven 70
Tag- und Nachttiden 72
Tiden in Fernandina und in Cuxhaven (Fig. 22) 76
Tiden oberer und unterer Mondesculmination 78
§ 7. Einfluss der Sonnen-Entfernung und Declination (Fig. 23) 79
§ 8. Sonnentide und Mondtide 85
In Cuxhaven (Fig. 24 bis 27) 86
An anderen Orten 89
§ 9. Alter der Tide 93
B. Tiden in der Ostsee 95
C. Tiden im Mittelländischen und Adriatischen Meere (Fig. 28 u. 29) 97
D. Tiden im Michigan See (Fig. 30) 102

Seite

E. Tiden anderer Meere 104
Sabine-Insel, Grönland (Fig. 31) 104
Astoria, Oregon (Fig. 32) 105
Novo-Argangelsk, Russisch-Amerika (Fig. 33) 105
Petropaulofsk, Kamtschatka (Fig. 34 u. 35) 105
Batsha, Annam 107
Singapore, Malaka (Fig. 36) 110
Motouta, Tahiti-Archipel (Fig. 37) 111
König Georgs-Sund, Australien (Fig. 38) 113
Sydney, Australien 113

III. Abschnitt. Von der Wirkung des Windes auf den Wasserspiegel.

Im Allgemeinen 115
Am Helder (Fig. 39) 117
Absolute Höhe mittlerer Wasserstände 119
Wasserstände der Ostsee 120
Sturmfluth in der Ostsee am 13. November 1872 (Fig. 40 u. 41) 124
Wirkung des Windes in der Nordsee, speciell in Cuxhaven (Fig. 42 u. 43) 132
Abweichungen vom mittleren Wasserstande 160
Einfluss des Luftdruckes und der Wärme 161
Unveränderlichkeit des mittleren Wasserstandes 164

IV. Abschnitt. Vergleiche und Schlüsse.

Aehnlichkeiten der natürlichen mit den theoretischen Tiden 165
Abweichungen derselben von einander in Bezug auf:
die Fluthgrösse 166
den Einfluss der wechselnden Entfernung und Declination des Mondes 167
den Einfluss der wechselnden Entfernung und Declination der Sonne 168
die Eintrittszeit der Tiden 169
die Zusammensetzung der Fluthwelle 170
den Typus 173
die Richtung des Fortschreitens der Fluthwellen 174
den mittleren Wasserstand der Fluthwellen 176
Schlüsse 180
Zukünftige Forschungen 183

Anmerkungen.

1. Theorie der Fluth und Ebbe (Fig. 44) 186
2. Entfernung und Declination von Sonne und Mond 194
3. Das Wort: Tide 201
4. Registrirender Fluthmesser 201
5. Halbmonatliche Ungleichheiten von Cuxhaven 202
6. Berechnung der Cuxhavener Tiden 204
7. Methode der harmonischen Analyse 205
8. Sonnen- und Mondfluthcurven in Cuxhaven 215
9. Wasserstände des Adriatischen Meeres 220
10. Fluthcurven von Milwaukee 221
11. » » Tahiti 222
12. Die Tiden von Hull 223
13. Mittlere Wasserstände in Cuxhaven und Kurrachee 225

Angabe der benutzten Quellen. 228

Bemerkung. Die Längenmaasse sind, wenn nicht ausdrücklich etwas Anderes bemerkt ist, Seemeilen à 1855,1 m, (von denen sechszig auf einen Grad des Aequators gehen), Meter oder englische Fuss.

J. F. Richter (H. G. Voigt's Buchdruckerei).

Bai (M.S.)

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Lentz, Hugo

Fluth und Ebbe und die Wirkungen des Windes auf den Meeresspiegel

Hamburg 1879
Bamberg, Staatsbibliothek -- Phys.geogr.o.22-c
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11763499-8